

Aula 03 Prof. Juliano

Eletrobrás (Engenharia Mecânica - A e B)
Conhecimentos Específicos - 2022
(Pós-Edital)

Autor:
Felipe Canella, Juliano de Pelegrin

11 de Março de 2022

1. Sumário

Fadiga	3
1 - Estágios da falha por fadiga.....	5
1.1 - Nucleação da trinca	5
1.2 - Propagação da trinca	6
1.3 - Falha catastrófica.....	6
2 - Ensaio de fadiga.....	7
3 - Modelos de falha por fadiga	9
3.1 - Modelo tensão-número de ciclos	9
3.2 - Modelo deformação-número de ciclos	10
3.3 - Modelo da mecânica da fratura linear-elástica	10
4 - Concentradores de tensão	11
4.1 - Sensibilidade ao entalhe.....	11
5 - Curva de Wöhler	13
6 - Critérios de falha em fadiga	14
6.1 - Critério de Gerber	16
6.2 - Critério de Goodman modificado	16
6.3 - Critério de Soderberg.....	18
6.4 - Tensão equivalente de Von Mises	20
7 - Cálculo da vida em fadiga	21
8 - Mecanismos de prevenção de fadiga.....	22
Questões Comentadas	24
Lista de Questões.....	40
Gabarito.....	50



CONSIDERAÇÃO INICIAIS

Caro(a) estrategista, na aula de hoje vamos estudar **a fadiga**. Nesta aula iremos abordar os **tópicos chaves** desse assunto.

O conteúdo que vamos estudar hoje foi responsável por falhas mecânicas em navios, pontes, aviões, guindastes etc. Este modo de falha foi um mistério durante anos, até que o engenheiro alemão August Wöhler, decidiu investigar cientificamente o que ocorria nos materiais para que a falha por fadiga acontecesse.

Como de costume, antes de começarmos nossa aula, reforço que esta aula é escrita baseada em fontes consagradas da engenharia mecânica, portanto haverá figuras e citações retiradas de bibliografias, isto é realizado com o objetivo de tornar o material o mais didático e claro possível.

Sem mais, lembre-se de **acessar e curtir minhas redes sociais**. Lá você poderá encontrar dicas, conteúdos e informações a respeito de seu concurso!

Vamos lá?!

Instagram - @profjulianodp

E-mail - profjulianodp@gmail.com

Telegram - <https://t.me/profjulianodp>

YouTube - Prof. Juliano de Pelegrin

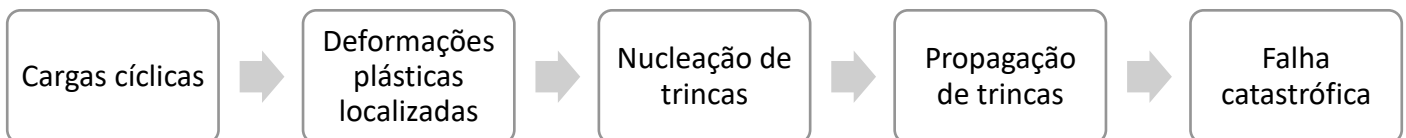


FADIGA

Prezado(a) estrategista, nessa aula, **vamos estudar cada etapa desse modo de falha e o que leva um material a falhar por fadiga.**



A falha por fadiga ocorre em materiais metálicos carregados ciclicamente. A carga cíclica produz pequenas deformações plásticas localizadas que deterioram o material, originando trincas que são propagadas por tensões trativas. Após certo número de ciclos, a trinca adquire tamanho suficiente para causar a falha do material. Vale lembrar que a falha de um material por fadiga ocorre em solicitações abaixo do limite de escoamento do material.



Existem 5 tipos de fadiga que devem ser considerados dependendo do projeto, são eles:



Fadiga mecânica

- Tipo mais comum, onde ocorrem variações de tensão no tempo.

Fadiga termomecânica

- Este tipo contempla casos onde a variação de tensão está acompanhada de variação de temperatura

Fadiga por creep

- Tipo que caracteriza a fadiga por cargas variantes sob alta temperatura

Corrosão sob fadiga

- Este tipo está ligado à aplicações em ambientes quimicamente agressivos aos materiais
- A fadiga é potencializada pela corrosão, por isso acontece em níveis mais baixos de carga

Fadiga de contato cíclico

- Associada à fadiga que ocorre devido às flutuações de carga no atrito de diferentes materiais

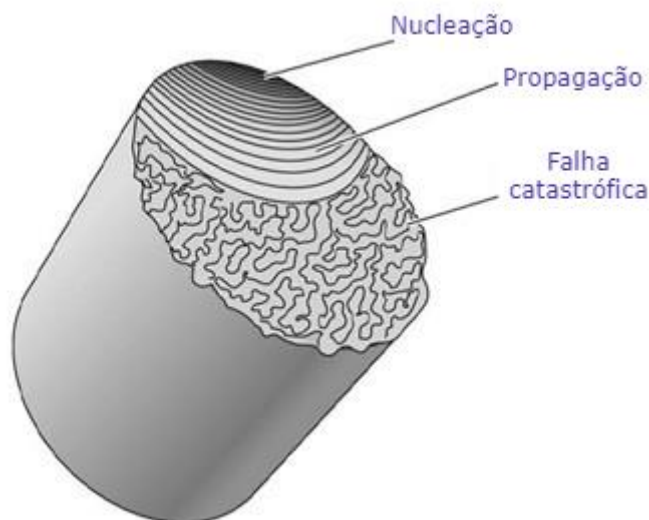
Em nosso estudo trataremos apenas da fadiga mecânica.

Por aqui finalizamos a introdução, vamos adiante!



1 - Estágios da falha por fadiga

Podemos dividir o fenômeno da falha por fadiga em três diferentes estágios que ocorrem na seguinte ordem: **Nucleação da trinca, propagação da trinca e falha catastrófica.**



1.1 - Nucleação da trinca

Este é o **primeiro estágio da falha por fadiga** e o de menor duração em relação à vida útil da peça. A nucleação de trincas é o processo no qual fissuras microscópicas aparecem no material, na maioria dos casos as fissuras têm início na superfície devido a entalhes deixados pelos processos de conformação e usinagem do material.

Os **entalhes** deixados por esses processos **funcionam como concentradores de tensão**, dessa forma mesmo que a tensão aplicada na peça esteja abaixo do limite de escoamento do material, ocorrerá deformação plástica na extremidade do entalhe. Essa deformação degrada o material, o que causa a aparição de trincas.

É possível ainda que a trinca seja nucleada no interior do material, devido a impurezas oriundas dos processos de fabricação. As impurezas funcionam como os entalhes superficiais, concentrando as cargas de tração e deformando plasticamente o material nesse ponto, o que origina as trincas.

CURIOSIDADE



Alguns navios-tanque da segunda guerra mundial sofreram falhas por fadiga. Após a análise da falha, os engenheiros chegaram à conclusão de que algumas falhas foram



ocasionadas por golpes de arco voltaicos deixados na superfície do material durante sua construção.

A trinca tende a crescer na direção de máxima tensão de cisalhamento, o que corresponde aproximadamente em um ângulo de 45 graus em relação à aplicação da carga.

1.2 - Propagação da trinca

Este **estágio ocorre na maior parte da vida útil do componente**. A trinca nucleada, ao sofrer esforços trativos, aumenta seu comprimento. A **ponta da trinca** funciona como um **concentrador de tensão**, como o entalhe que a nucleou, porém em geral, a ponta das trincas tem formato mais pontiagudo, o que resulta em altíssimas tensões concentradas nesse ponto durante os esforços mecânicos.

As tensões concentradas colocam o material dessa microscópica região acima do limite de escoamento, na região plástica, degradando o mesmo e facilitando o crescimento da trinca.

A trinca se propaga em um plano normal à tensão aplicada, e essa propagação pode ocorrer de duas maneiras. A propagação de trinca transgranular ocorre através dos grãos cristalinos do material, já a propagação intergranular ocorre através dos contornos de grão. É possível que o comportamento de propagação da trinca mude entre os dois citados durante o processo de crescimento da trinca.



A taxa de crescimento de uma trinca é muito pequena em um ciclo, entretanto, ao expor o material a um número grande de ciclos, a trinca se torna significativa.

Ao analisar um material fraturado por fadiga, podemos notar uma região que compreende quase todo o material formada por estrias. Essas estrias são formadas durante a propagação da trinca, a cada ciclo acontece o avanço da trinca e uma nova estria é formada. Elas são comumente chamadas de marcas de praia por lembrar as marcas deixadas pelas ondas na areia da praia durante a descida da maré.

1.3 - Falha catastrófica

A falha do material ocorre após a trinca atingir um valor crítico de comprimento. A **falha acontece de forma repentina** e deixa marcas de fratura frágil no material.

Quanto maior a trinca, maior a tensão concentrada em sua ponta, isso acontece pois o material que foi dividido pela trinca já não pode suportar qualquer tensão, restando uma menor área para suportar os esforços aplicados. Por isso em certo momento, a tensão na ponta da trinca atinge o valor da tenacidade a fratura do material, causando assim seu colapso.



2 - Ensaio de fadiga

Caro(a) estrategista(a), alguns **ensaios** são realizados em corpos de prova a fim de descobrir as propriedades de resistência à fadiga dos materiais para utilizá-los em projetos adequadamente. Os ensaios consistem na **aplicação de cargas flutuantes em corpos de provas normatizados tanto em dimensões quanto em acabamento superficial.**

Existem diversos tipos de ensaio de fadiga, todos eles têm duração até o rompimento do corpo de prova e os principais ensaios são:

- **Tração-compressão:** O corpo de prova é submetido à esforços senoidais de tração e compressão de magnitude constante.
- **Torção:** O ensaio de torção consiste em submeter um corpo de prova a alterações de ângulo entre suas faces mais externas com linha neutra no eixo longitudinal do corpo. Esta alteração de ângulo acontece de forma repetida até que o corpo de prova falhe.
- **Flexão alternada:** Ensaio desenvolvido por Wöhler. Este ensaio consiste em fixar o corpo de prova em um eixo girante por uma de suas pontas. Na outra ponta um dispositivo aplica carga ao eixo em uma direção. O eixo rotaciona o corpo de prova em velocidade constante até a fratura. Cada volta do eixo corresponde a 1 ciclo.
- **Flexão rotativa:** É o mais comum, conhecido também como ensaio de R. R. Moore. Neste ensaio o corpo de prova é apoiado por mancais em suas extremidades, estes mancais são acoplados a uma certa massa em balanço, isso produz um estado de flexão no corpo de provas. Esse corpo então é colocado para rotacionar à velocidade constante por um motor que mantém o giro até a ruptura do material. Neste ensaio as fibras do material passam por esforços senoidais de tração e compressão em uma única volta, o que corresponde a um ciclo.

A partir desses ensaios podemos montar gráficos com curvas de tensão ou deformação por número de ciclos. Esses gráficos nos ajudam a compreender o comportamento do material quando submetido à vida em fadiga.

Devemos lembrar que para a construção de um gráfico, diversos ensaios devem ser feitos, a fim de minimizar a imprecisão dos resultados. Também devemos saber que os corpos de provas são diferentes para cada tipo de ensaio e são padronizados por normas.



Através destes ensaios podemos retirar alguns **termos fundamentais para um projeto em fadiga**, são os principais:



Tensão média:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

Tensão alternada:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

Razão de carga:

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$

Razão de amplitude:

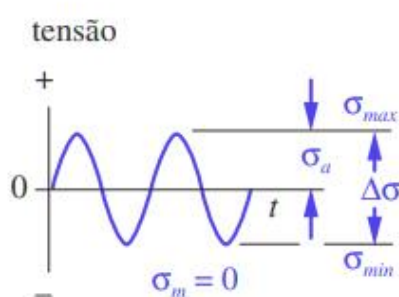
$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m}$$

Intervalo de tensão:

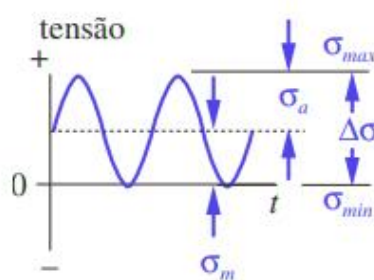
$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$



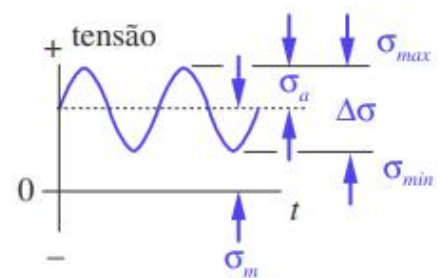
Abaixo estão representados os diferentes tipos de cargas cíclicas senoidais possíveis: alternada, repetida e pulsante.



(a) Alternada



(b) Repetida



(c) Pulsante



Tensão alternada

- caracterizada pelo valor de tensão média igual a zero.

Carregamento repetido

- apresenta variação entre zero e um valor máximo, além dos valores de tensão alternada e tensão média serem iguais.

Tensão pulsante

- tem qualquer uma de suas componentes diferentes de zero. Pode trabalhar tanto no regime de tração quanto de compressão.

Vamos adiante!

3 - Modelos de falha por fadiga

A falha por fadiga pode ser analisada de diferentes modos, utilizando diferentes modelos. Atualmente temos disponíveis **três modelos de falha**, cada qual com suas características e aplicações.

Os modelos disponíveis são:

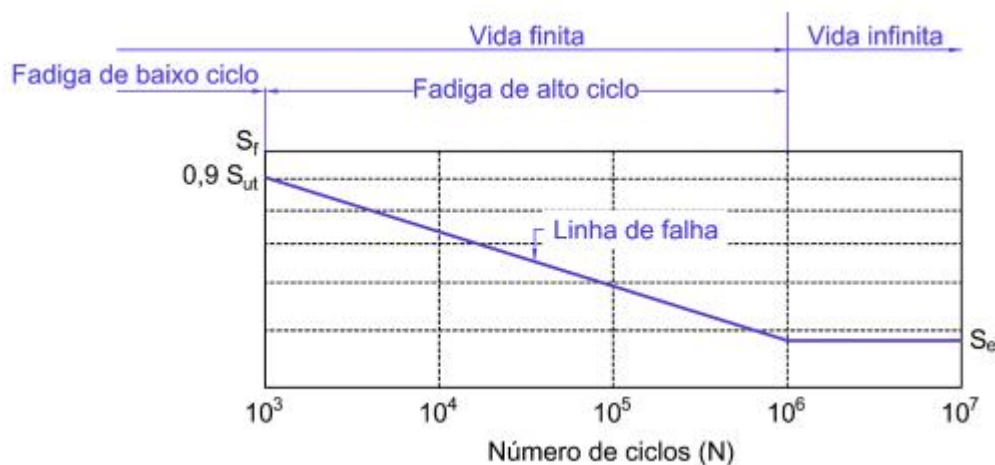
- Tensão-número de ciclos (S-N)
- Deformação-número de ciclos (ϵ -N)
- Mecânica da fratura linear-elástica (MFLE)

3.1 - Modelo tensão-número de ciclos

É o **modelo mais utilizado** atualmente apesar de ser o mais antigo dentre os três na análise de fadiga de alto ciclo.

A **fadiga de alto ciclo é caracterizada quando a peça ultrapassa os 10^3 ciclos**. Abaixo desse valor, chamamos de fadiga de baixo ciclo. Veja o gráfico abaixo para compreender melhor as nomenclaturas.





Este modelo de falha apresenta algumas vantagens em determinadas situações, como quando conhecemos a amplitude das solicitações e sabemos que são consistentes.

A vida infinita é alcançada nesse modelo garantindo que nos entalhes e descontinuidades da peça, as tensões sejam baixas, impedindo que aconteça a nucleação da trinca.

Por este modelo não considerar deformações plásticas no material e trabalhar buscando vida infinita, sua análise é pouco precisa para casos em que ocorra fadiga de baixo ciclo.

Prosseguindo!

3.2 - Modelo deformação-número de ciclos

No modelo deformação-número de ciclos a deformação plástica é considerada a cada ciclo. Por isso é **mais indicado para análise da vida em fadiga de baixo ciclo**, com tensões elevadas que causam deformações na peça. Este modelo tem boa aplicação para análise de peças que trabalhem em altas temperaturas, pela ocorrência mais facilitada de deformações permanentes.

Dentre os 3 modelos, este é o que apresenta maior dificuldade de aproximações, sendo necessário uso de computadores para realizar os cálculos, por isso não vamos nos aprofundar demais.

3.3 - Modelo da mecânica da fratura linear-elástica

Este modelo é **empregado para constatar o tempo restante de vida de uma peça trincada em fadiga quando em regime de baixo ciclo e vida finita**. É o melhor modelo para análise da propagação da trinca, entretanto se faz necessário o conhecimento da geometria da trinca no material para que com o auxílio de computadores, o cálculo de vida seja preciso.

Caso o material não apresente trincas, devemos assumir a existência de uma trinca com as proporções menores que a menor trinca detectável.



Por se tratar de uma análise complexa e pouco relevante para fins de prova, não vamos abordar este método a fundo.

Vamos adiante!

4 - Concentradores de tensão

Os **concentradores de tensão** são encontrados em praticamente todos os elementos de uma **máquina moderna**, por isso o projeto deve ser bem dimensionado para que não apresente falhas durante seu uso.



Um **concentrador de tensão** consiste em uma **descontinuidade na peça**, seja mudanças bruscas de ângulo, mudança brusca de espessura, rasgos de chavetas, impurezas presentes no interior do material, entalhes na parte exterior da peça, acabamento superficial etc. Estes elementos fazem com que a tensão normal aplicada ao corpo, que é menor que o limite elástico do material, seja concentrada e amplificada a níveis acima desse limite. Dessa forma, como visto acima no texto, a trinca é nucleada e começa sua propagação.

Podemos citar como exemplo de concentradores de tensão os casos de falha estrutural dos aviões comet, que aconteceram. As janelas do avião tinham cantos vivos que funcionaram como concentradores de tensão durante o uso em fadiga de compressão e descompressão da fuselagem.

Para sabermos qual o valor desse concentrador de tensão, devemos calculá-lo baseado na geometria do corpo que está sofrendo o esforço. Esse concentrador de tensão é comumente chamado de K_t e é multiplicado à tensão normal no corpo para indicar qual a tensão que o ponto de concentração desse corpo está suportando.

4.1 - Sensibilidade ao entalhe

Diferentes materiais apresentam diferentes sensibilidades à entalhes. Essa sensibilidade está ligada à concentração de tensão provocada pelo entalhe. **Quanto maior a sensibilidade, mais tensão o material suporta sem falhar, mesmo na presença desse tipo de descontinuidade.**





Geralmente, quanto mais frágil é o material, maior é sua sensibilidade ao entalhe.

A geometria do entalhe tem grande influência sobre a sensibilidade ao entalhe. Quanto menor o raio de arredondamento da ponta do entalhe, menor a sensibilidade. Ou seja, conforme o raio da ponta do entalhe diminui, deixando o entalhe mais fino e pontiagudo, menor será a resistência do material às solicitações.

Existe um modelo de cálculo de sensibilidade ao entalhe (q) criado por Peterson que varia entre 0 e 1, veja a seguir.

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1} \quad K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

K_t corresponde ao fator de concentração de tensões.

K_f é o fator de concentrações de tensão em fadiga.

O passo a passo para encontrar o fator de concentrações de tensão em fadiga é constituído por **três passos básicos**. O primeiro é determinar o K_t , em seguida devemos determinar a sensibilidade ao entalhe, então usamos essas informações para descobrir o K_f .

Após descobrir o K_f devemos multiplicá-lo pela tensão nominal e assim encontramos a tensão que está sendo efetivamente suportada pelo entalhe.

Podemos ainda descobrir a sensibilidade ao entalhe utilizando a constante de Neuber (a) e o raio do entalhe (r), através da seguinte equação.

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}}$$



(FDRH / IGP RS – 2008) Com relação à ocorrência de fadiga em componentes mecânicos, é possível afirmar que

- a) o critério de Gerber é mais conservativo do que o de Soderberg, sendo, por essa razão, pouco utilizado em projeto mecânico.
- b) a ocorrência de solicitações repetidas de compressão, na maioria dos casos, pode ser considerada a principal causa das falhas de componentes.
- c) a fadiga de alto ciclo está associada a solicitações elevadas, da ordem da tensão de escoamento do material.
- d) os principais materiais utilizados em engenharia, como ligas de aço e alumínio, apresentam um limite de resistência à fadiga, definido para 10^4 ciclos de aplicação de carga.
- e) a influência de concentradores de tensão sobre a magnitude das solicitações é indicada através de uma propriedade chamada sensibilidade ao entalhe.

Comentário:

A **alternativa A** está incorreta. O critério de Soderberg é o mais conservativo em comparação aos apresentados, incluindo o critério de Gerber.

A **alternativa B** está incorreta, a principal causa de falhas de componentes é a fadiga devido a cargas cíclicas trativas.

A **alternativa C** está incorreta. A fadiga de alto ciclo está associada a um número elevado de ciclos, acima de 10^3 e não à tensão aplicada.

A **alternativa D** está incorreta. Estes materiais não apresentam limite de resistência à fadiga.

A **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão. A sensibilidade ao entalhe é a propriedade que indica a influência de concentradores de tensão sobre a magnitude das solicitações no material.

Prosseguindo!

5 - Curva de Wöhler

A curva de Wöhler, popularmente conhecida como **curva S-N** é a mais comum a ser analisada quando falamos de fadiga. Essa curva é produzida a partir de ensaios de tração de flexão alternada e consiste em um eixo de ciclos na horizontal, organizado de forma logarítmica e um eixo de tensão na vertical, que pode ser logarítmico ou linear.

A curva S-N apresenta um comportamento interessante dos materiais metálicos como os aços. Abaixo de certo nível de tensão, a vida do material passa de 10^6 ciclos, o que é considerado vida infinita. Chamamos essa tensão de limite de resistência à fadiga.

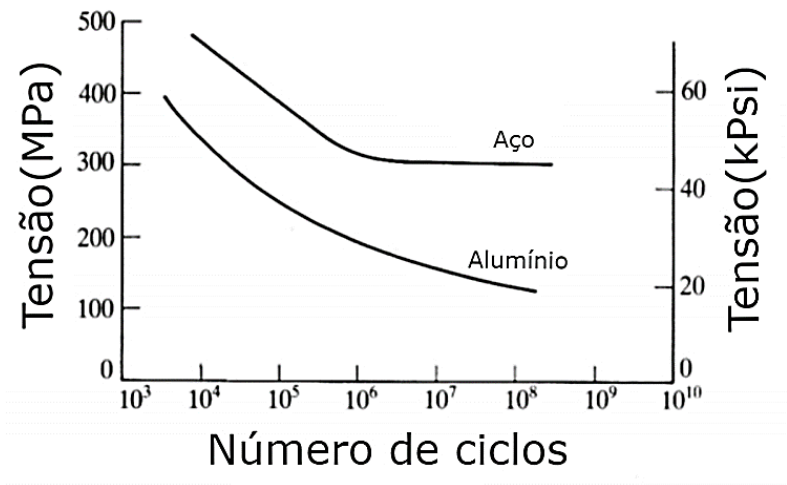
Quanto maior a amplitude de tensão imposta ao corpo, menor será a quantidade de ciclos suportada até a falha.

O gráfico pode ainda ser dividido em duas zonas, antes de 10^3 ciclos chamamos de baixo ciclo e acima desse valor o nome dado é alto ciclo.



Para que o componente suporte o número de ciclos para que foi projetado, as tensões devem ficar abaixo da linha do gráfico. Ultrapassar a linha significa falha do material.

Note a diferença nas curvas do aço 1045 em comparação ao alumínio 2024-T6.



Perceba que o alumínio não apresenta um limite de resistência a fadiga como o aço.

6 - Critérios de falha em fadiga

Em projetos de peças que trabalharão sob o regime de fadiga, precisamos definir critérios para que a falha do componente não aconteça durante seu uso.

Os critérios são baseados no tipo de carregamento em que a peça está exposta, veja abaixo a tabela que caracteriza os tipos de solicitações em quatro categorias.

	Tensões alternadas ($\sigma_m = 0$)	Tensões variadas ($\sigma_m \neq 0$)
Tensões uniaxiais	Categoria I	Categoria II
Tensões multiaxiais	Categoria III	Categoria IV

Por enquanto trataremos apenas da categoria I para facilitar o entendimento.

Existem diversos critérios, sendo alguns mais conservadores que outros. Abaixo veremos um gráfico que **compara as curvas de diferentes critérios de falha** e falaremos sobre cada um deles separadamente, mas antes vamos entender algumas notações do gráfico para facilitar sua leitura.



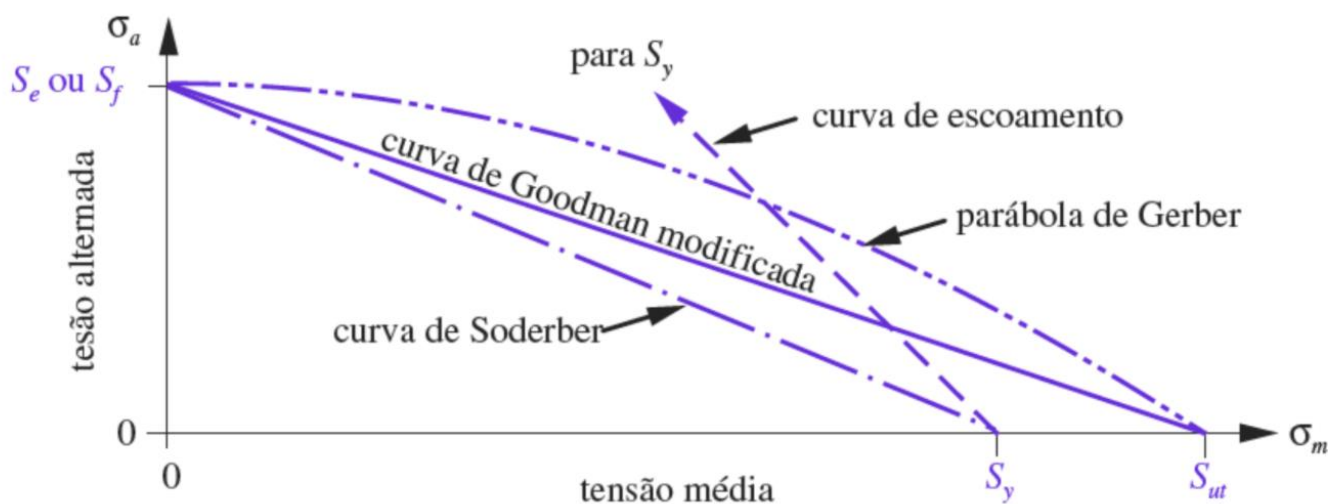
S_e = limite de resistencia à fadiga corrigido. Este limite de resistência á fadiga é construido baseado em diversas características da peça testada, como:

- Temperatura de trabalho: quanto maior a temperatura de trabalho, maior a resistencia à fadiga;
- Tipo de carregamento: Flexão = 1; Torção pura = 1; Força normal = 0,7;
- Acabamento superficial: os valores dependem do acabamento, seja ele retificado, forjado etc;
- Tamanho: Quanto maior a peça, menor a resistencia à fadiga da mesma;
- Confiabilidade desejada;

Cada uma dessas características atribui um coeficiente que varia entre 0 e 1. Todos os coeficientes participam da multiplicação com o S_e' , que corresponde à 0,5 vezes o limite de ruptura do material em aços e 0,4 vezes esse mesmo limite em ferros. Após fazer a multiplicação, chegamos ao S_e .

S_{ut} = limite de resistencia a tração. Propriedade tabelada.

S_y = Corresponde ao limite de escoamento e está presente no gráfico para funcionar como limite no primeiro ciclo de tensão.



O gráfico das curvas de critério de falha por fadiga, é montado utilizando dois eixos de tensão. O eixo horizontal corresponde à tensão média, enquanto o eixo horizontal corresponde à tensão alternada. Por isso **para casos em que a tensão varia em tração e compressão com a mesma intensidade, devemos utilizar a curva de Wöhler para determinar o comportamento do material sob uso em fadiga.**



O escoamento da peça caracteriza falha, independentemente da segurança em fadiga calculada.

Vale lembrar que para **TODOS** os critérios de falha apresentados, a região onde a peça **não** irá falhar sempre se encontra abaixo da curva.

6.1 - Critério de Gerber

A **parábola de Gerber** é construída de acordo com os resultados experimentais. Esta parábola compreende os valores médios das dispersões de resultados em um ensaio de fadiga.

Por ser construída com base experimental, tem grande utilidade para a análise de falha de peças.

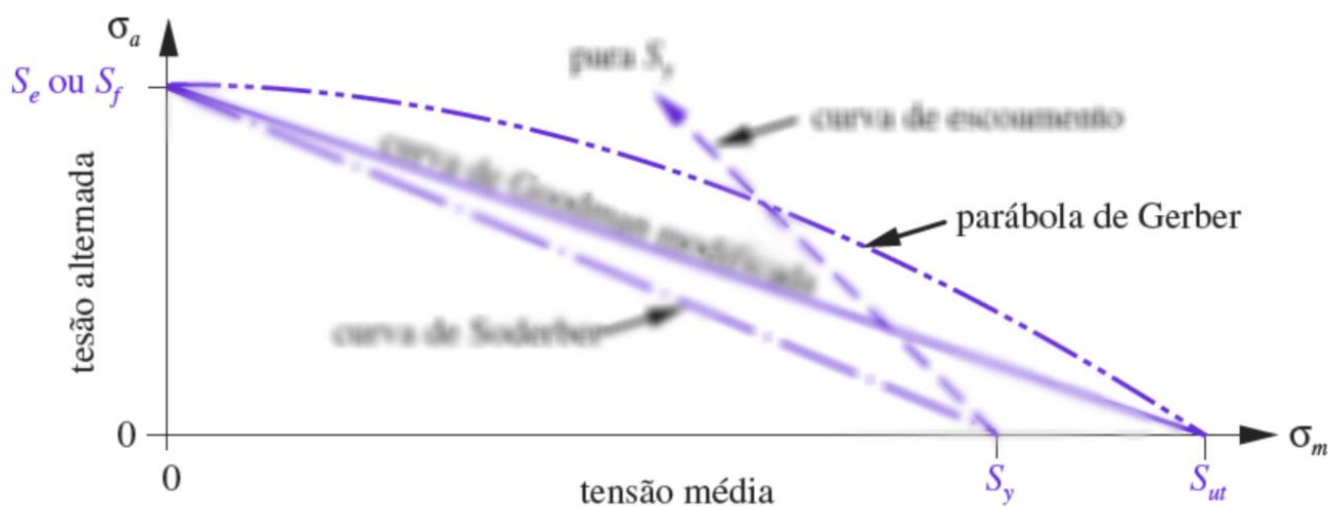
A parábola de Gerber é definida pela seguinte equação.

$$\sigma_a = S_e \left(1 - \frac{\sigma_m^2}{S_{ut}^2}\right)$$

Um fator de segurança está incorporado ao critério de Gerber, esse fato de segurança é definido como:

$$1 = \frac{n\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2$$

A variável “n” é referente a segurança incorporada à peça.



6.2 - Critério de Goodman modificado

Este critério, já um pouco mais conservador que o que de Gerber, utiliza os mesmos valores de falha, S_e ou S_f e S_{ut} , para a construção de uma reta que fica abaixo dos pontos de falha experimentais.

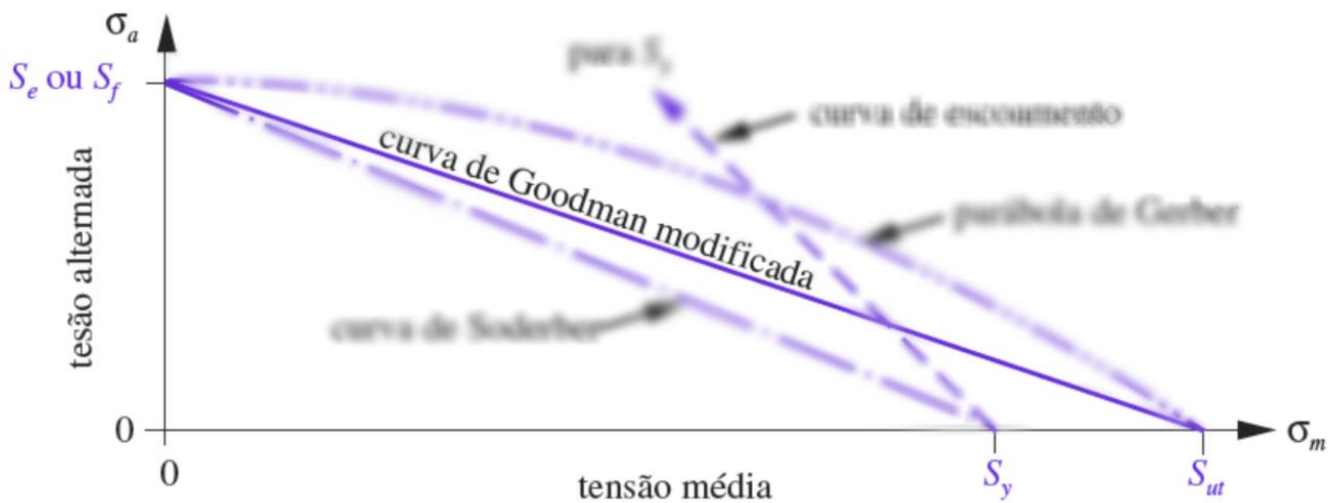
A **reta de goodman modificado** é descrita pela seguinte equação:



$$\sigma_a = S_e \left(1 - \frac{\sigma_m}{S_{ut}}\right)$$

O fator de segurança desse critério de falha pode ser calculado de acordo com a equação a seguir:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_m}{S_{ut}} + \frac{\sigma_a}{S_e}$$

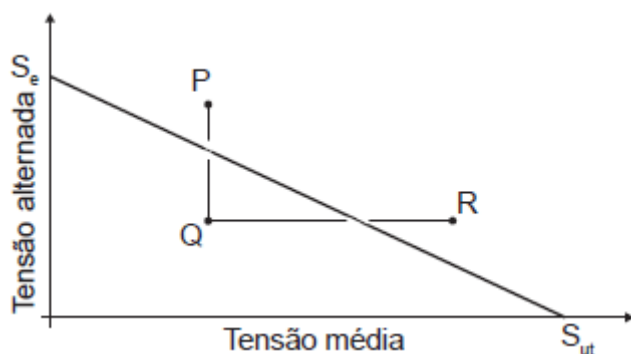


O critério de goodman modificado é muito utilizado no projeto de peças que sofram tensões médias diferentes de zero durante sua vida útil.



(CESGRANRIO / UNIRIO – 2016) A Figura abaixo mostra a linha do diagrama de Goodman modificado para 10^6 ciclos de solicitação de um determinado componente, no qual S_e é o limite de resistência à fadiga, e S_{ut} é a resistência à tração do material.





De acordo com esse diagrama, o(s) ponto(s) que estabelece(m) uma vida infinita para o componente é(são) apenas o(s) ponto(s)

- a) P
- b) Q
- c) R
- d) P e R
- e) Q e R

Comentário:

Como vimos, para que o componente tenha uma vida útil infinita sob fadiga, seu ponto de tensão alternada x tensão média deve estar abaixo da curva de goodman modificada. Por isso apenas o ponto Q terá vida infinita em fadiga, visto que o ponto P e o ponto R ultrapassam a linha do diagrama. A **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

Prosseguindo!

6.3 - Critério de Soderberg

Dentre os critérios citados, o de Soderberg é o **mais conservador**. De certa forma, é até conservador demais para a maioria das aplicações, por isso acabou se tornando o menos utilizado. Esta curva, diferentemente das citadas anteriormente, faz a ligação do ponto S_e ou S_f com S_y , isso se traduz em um alto nível de confiança na peça.

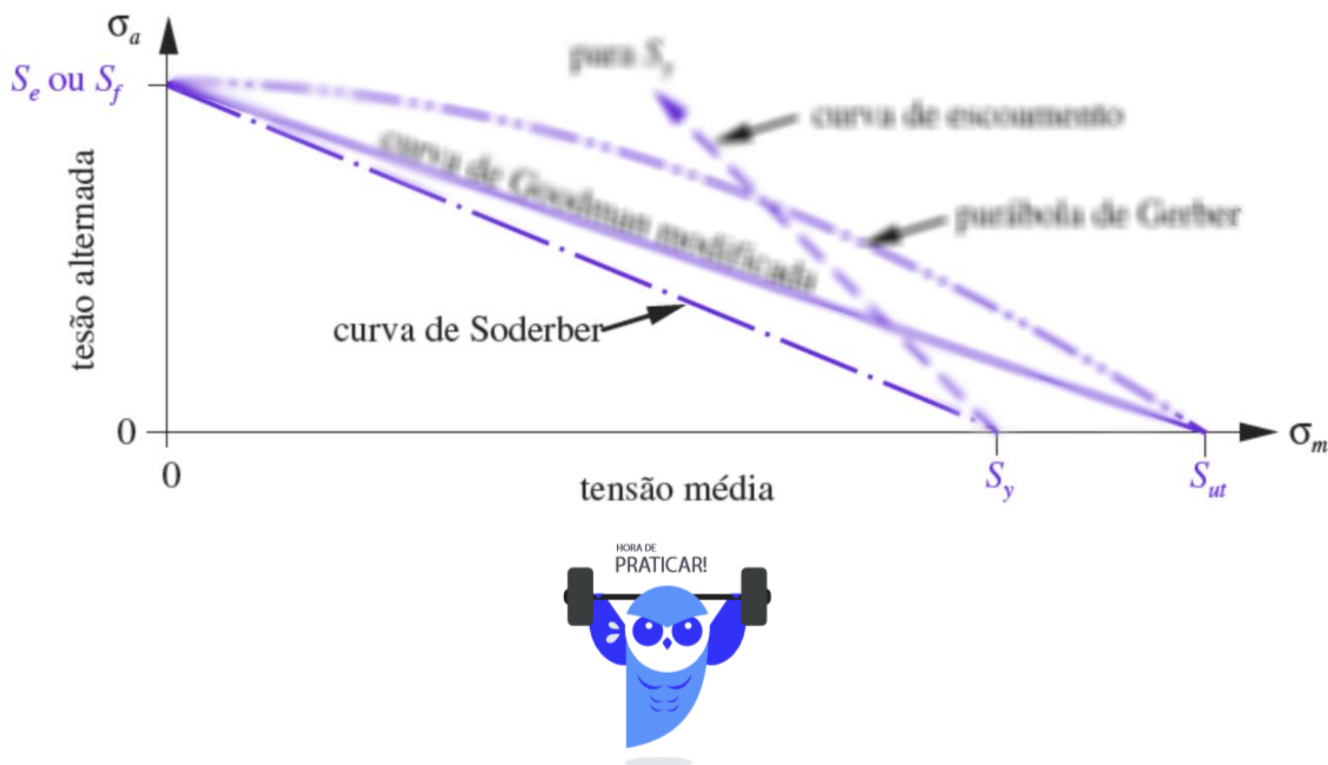
A curva de Soderberg é constituída a partir da equação a seguir.

$$\sigma_a = S_e \left(1 - \frac{\sigma_m}{S_y}\right)$$

O fator de segurança para esse critério de falha é calculado pela seguinte equação.

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_m}{S_y} + \frac{\sigma_a}{S_e}$$





(FGV / TJRO – 2015) Considere um elemento de máquina submetido a tensões cíclicas de tração pura, variáveis entre 180 e 420 MPa. O limite de resistência à fadiga na seção crítica é 160 MPa. De acordo com o critério de Soderberg, o limite de escoamento mínimo, em MPa, necessário ao material, para que o elemento alcance vida infinita, é:

- a) 1400;
- b) 1200;
- c) 700;
- d) 600;
- e) 300.

Comentário:

Vamos utilizar a equação do fator de segurança para calcular o S_y . Porém antes precisamos descobrir qual a tensão média e a alternada atuantes.

$$\text{Tensão média: } \sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\text{Tensão alternada: } \sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\text{Tensão média: } \sigma_m = \frac{420 + 180}{2} = 300 \text{ MPa}$$

$$\text{Tensão alternada: } \sigma_a = \frac{420 - 180}{2} = 120 \text{ MPa}$$

Já com os valores de tensão média e tensão alternada calculados, vamos aplicá-los na equação do fator de segurança, assumindo como 1 esse fator, para que a peça tenha vida infinita.



$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_m}{S_y} + \frac{\sigma_a}{S_e} \quad \frac{1}{1} = \frac{300}{S_y} + \frac{120}{160} \quad 1 = \frac{300}{S_y} + 0,75 \quad S_y = \frac{300}{0,25} = 1200 \text{MPa}$$

Logo, a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

Vamos adiante!

6.4 - Tensão equivalente de Von Mises

Prezado(a) aluno(a), a tensão equivalente de Von Mises permite calculemos o efeito de tensões multiaxiais combinadas como se fossem uma única tensão de tração pura.

Comumente é atribuído o símbolo σ' à tensão equivalente de Von Mises.

Para o caso tridimensional temos:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}}$$

Para o caso bidimensional temos:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

A tensão equivalente de Von Mises nos permite prever se a peça falhará por escoamento, quando submetida a tensões multiaxiais combinadas. O resultado da tensão equivalente não deve ser superior à tensão de escoamento ou o material falhará.

Fator de segurança: $n_f = \frac{S_n}{\sigma'_a}$; S_n = resistência à fadiga do material na vida específica N. $S_n = S_e$ na vida infinita.



(IADES / METRO DF – 2014) Um componente metroviário fabricado com aço martensítico e com limite de escoamento de 500 MPa, resistência à tração de 800 MPa, limite de fadiga corretamente corrigido de 400 MPa para carregamento alternado e uma vida de 10^6 ciclos, dureza Brinell de 285 HB e módulo de elasticidade de 200 GPa foi inspecionado em teste dinâmico, e seu ponto crítico foi verificado com uma máxima tensão de Von Mises de 200 MPa. Com base nessas informações, é correto concluir que o fator de segurança do componente testado é igual a

a) 0,25.



- b) 0,5.
- c) 1.
- d) 2.
- e) 4.

Comentário:

Vamos utilizar a equação do fator de segurança de Von Mises para realizar esse cálculo. Como o fator de segurança deve ser determinado para 10^6 ciclos, $S_n = S_e$.

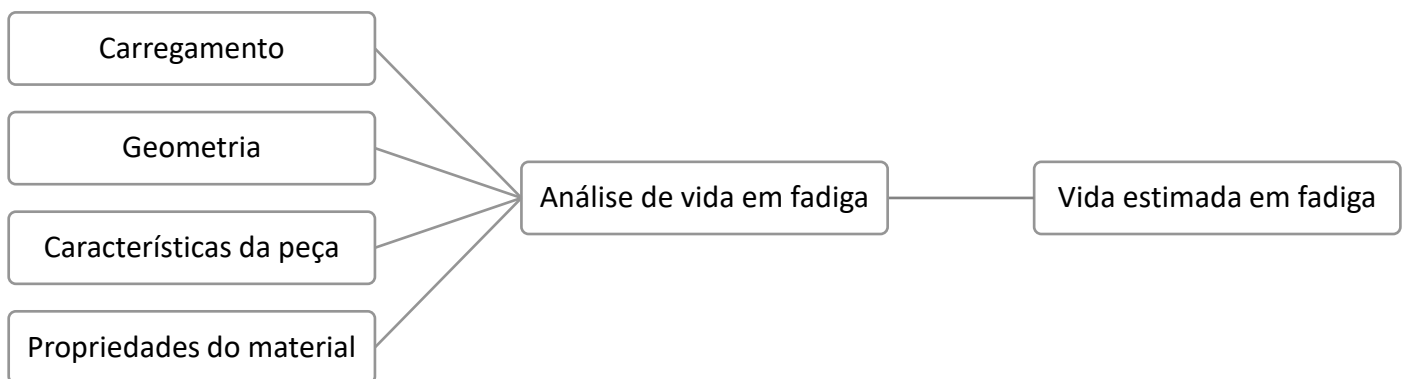
$$n_f = \frac{S_n}{\sigma'_a} \quad n_f = \frac{400}{200} \quad n_f = 2$$

O fator de segurança para esse componente é 2. Por isso, a resposta CORRETA é a **alternativa D**.

Prosseguindo!

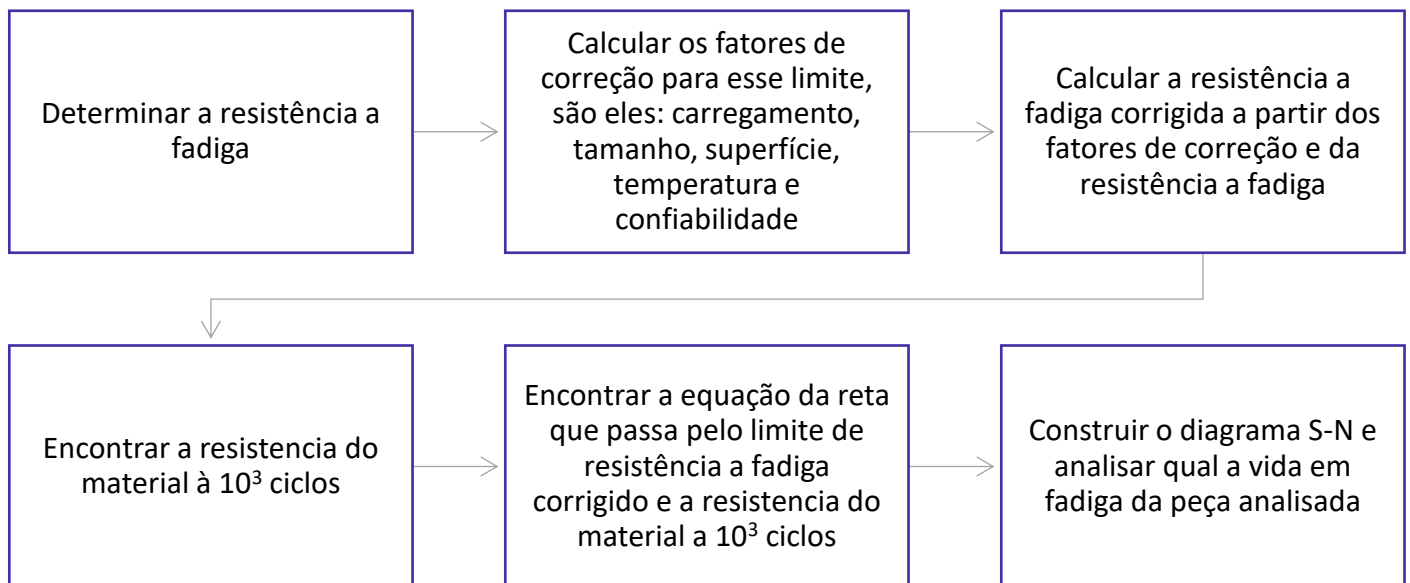
7 - Cálculo da vida em fadiga

O cálculo da vida em fadiga depende de diversas variáveis. Observe o esquema.



Todas estas variáveis são subdivididas em diversas outras, por isso adotamos um passo a passo para resolver esse tipo de problema. Veja abaixo como é adotado o passo a passo.





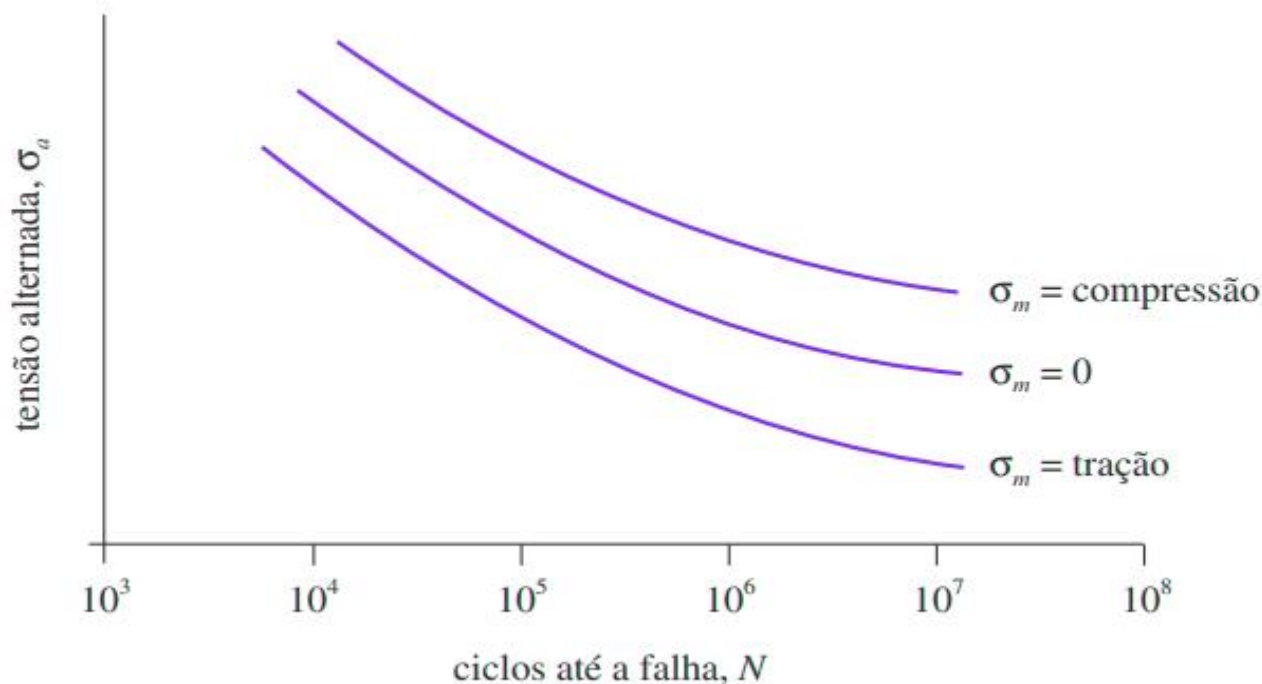
Caso a peça apresente tensões de trabalho abaixo do limite de resistência a fadiga corrigido (S_e), a vida infinita será alcançada.

8 - Mecanismos de prevenção de fadiga

Geralmente peças apresentam tensões residuais devido aos processos em que foram submetidas durante o processo de fabricação.

As tensões residuais compressivas, como podemos ver no gráfico abaixo, incrementam a resistência a fadiga das peças.





Por esse motivo, em algumas peças, essas tensões são introduzidas propositalmente através de tratamentos térmicos, tratamentos superficiais e tratamentos mecânicos de pré-tensionamento. Esses processos criam estados de tensões biaxiais de compressão na superfície e triaxiais de compressão abaixo da superfície. No centro da peça, estados triaxiais de tração aparecem.

Processos térmicos como **têmpera superficial**, **cementação**, **nitretação**, **chama ou indução** **criam tensões compressivas superficiais**. São altamente indicados para peças que sofram carregamentos não uniformes e de maior parte trativos.

Tratamentos superficiais como **jateamento de esferas**, **conformação a frio** e **jateamento a laser** também **aplicam tensões de compressão e auxiliam na vida em fadiga**. O **jateamento a laser tem grande penetração de tensões compressivas na peça**, prolongando a vida em fadiga entre 3 e 5 vezes mais, comparado ao jateamento de esferas.

Pré tensionamento mecânico é o método aplicado a peças que sofram esforços dinâmicos somente em uma direção. Consiste em sobrecarregar um componente no mesmo sentido dos esforços de trabalho, por exemplo uma mola.

Encerramos aqui o estudo a respeito de fadiga!



QUESTÕES COMENTADAS

1. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2014) Segundo diversos autores, a fadiga do material está entre as principais causas de falha de componentes mecânicos. A fadiga é uma redução gradual da capacidade de carga do componente, caracterizada pela ruptura do material, em consequência do avanço das fissuras que se formam no seu interior. As trincas crescem até atingir um tamanho crítico, suficiente para a ruptura final. São características do processo de falha por fadiga, exceto:

- a) formação de estrias microscópicas durante a propagação das trincas.
- b) geração inicial de trinca em uma região de alta concentração de tensões.
- c) propagação de trinca ocorrendo rapidamente em poucos ciclos de fadiga.
- d) formação de marcas de praia macroscópicas durante a propagação das trincas.

Comentário:

Todas as afirmativas são corretas, exceto a **afirmativa C**. Quando um material está sujeito a cargas cíclicas, a propagação da trinca de fadiga se dá com avanços muito pequenos a cada ciclo de cargas. Ou seja, a propagação da trinca ocorre de forma lenta em muitos ciclos de fadiga.

2. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2012) Preencha as lacunas abaixo e, em seguida, assinale a alternativa correta. Fadiga é uma falha que _____ ocorrer sob solicitações bastante _____ ao limite de resistência do metal, isto é, na região _____.

- a) pode / superiores / plástica
- b) pode / inferiores / elástica
- c) deve / superiores / elástica
- d) deve / inferiores / plástica

Comentário:

Essa é moleza! Sabemos do conceito da falha por fadiga, que esta pode ocorrer quando o material está submetido a cargas cíclicas abaixo de sua tensão de escoamento, ou seja, cargas presentes na região elástica. Portanto, veja como fica a frase com as lacunas preenchidas.

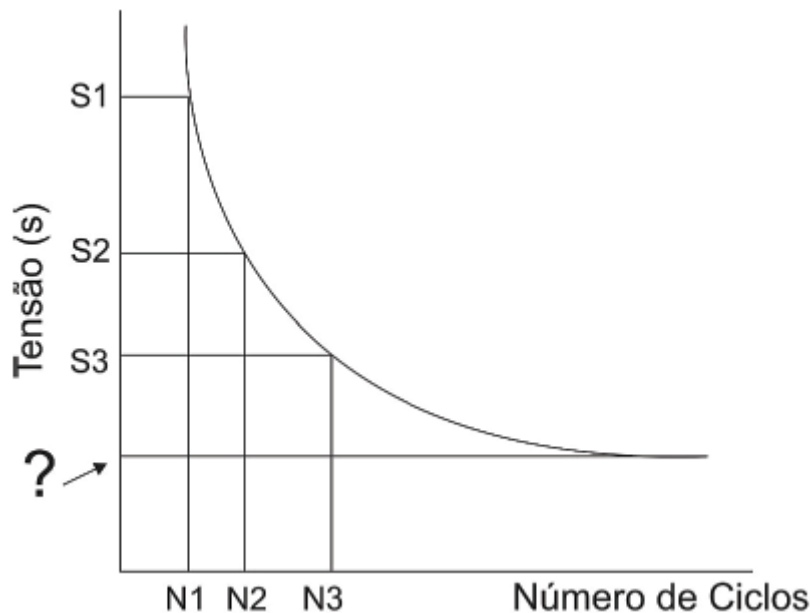
Fadiga é uma falha que PODE ocorrer sob solicitações bastante INFERIORES ao limite de resistência do metal, isto é, na região ELÁSTICA.

A **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.



3. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2019) Ensaio de fadiga geralmente é apresentado numa curva tensão x número de ciclos.

Analise o gráfico abaixo.



A linha indicada por uma interrogação representa o limite de

- a) tensão.
- b) fadiga.
- c) flexão.
- d) ruptura.

Comentário:

Analisando o gráfico, podemos perceber que ao aplicar uma tensão igual ou inferior a tensão da linha de interrogação, o número de ciclos de carga suportado pelo material tende a um número muito alto.

Quando analisamos curvas S-N, chamamos a região à direita de 10^6 ciclos, de vida infinita. Nessa região do gráfico, a curva de fadiga do material apresenta a característica de ser horizontal e a tensão correspondente a essa parte da curva é dada como o limite de resistência à fadiga.

Portando a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

4. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2019) O ensaio de resistência à fadiga é um meio de especificar limites de tensão e de tempo de uso de uma peça ou de um elemento de máquina.

O ensaio de fadiga é baseado em esforços de



- a) tração / torção.
- b) flexão / torção.
- c) tração / torção / compressão.
- d) tração / compressão / torção / flexão.

Comentário:

Existem diversos tipos de ensaio de fadiga, todos eles têm duração até o rompimento do corpo de prova e os principais ensaios são:

- **Tração-compressão:** O corpo de prova é submetido à esforços senoidais de tração e compressão de magnitude constante.
- **Torção:** O ensaio de torção consiste em submeter um corpo de prova a alterações de ângulo entre suas faces mais externas com linha neutra no eixo longitudinal do corpo. Esta alteração de ângulo acontece de forma repetida até que o corpo de prova falhe.
- **Flexão alternada:** Ensaio desenvolvido por Wöhler. Este ensaio consiste em fixar o corpo de prova em um eixo girante por uma de suas pontas. Na outra ponta um dispositivo aplica carga ao eixo em uma direção. O eixo rotaciona o corpo de prova em velocidade constante até a fratura. Cada volta do eixo corresponde a 1 ciclo.
- **Flexão rotativa:** É o mais comum, conhecido também como ensaio de R. R. Moore. Neste ensaio o corpo de prova é apoiado por mancais em suas extremidades, estes mancais são acoplados a uma certa massa em balanço, isso produz um estado de flexão no corpo de prova. Esse corpo então é colocado para rotacionar à velocidade constante por um motor que mantém o giro até a ruptura do material. Neste ensaio as fibras do material passam por esforços senoidais de tração e compressão em uma única volta, o que corresponde a um ciclo.

A **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

5. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2021) Existem condições de trabalho em que as tensões variam com o tempo ou flutuam entre determinados níveis. Para estes casos, o material pode falhar por fadiga. A fadiga é um processo de redução da capacidade de carga de componentes estruturais pela ruptura lenta do material, através da nucleação e/ou avanço de trinca a cada ciclo de carregamento.

A fratura por fadiga não ocorre

- a) se o carregamento for estacionário.
- b) em tensões abaixo do limite de resistência do material.
- c) se o ciclo de carregamento atuar em limites inferiores e superiores definidos.
- d) se o ciclo de carga envolver somente cargas abaixo do limite de escoamento do material.

Comentário:



A principal característica da falha por fadiga é que ela ocorre quando o material é submetido a carregamentos cíclico. Por isso a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão. Quando temos um carregamento estacionário a falha por fadiga não ocorre.

A falha por fadiga pode ocorrer sob tensões muito baixas e em ciclos onde os carregamentos variam entre 2 limites definidos, por isso as demais alternativas estão incorretas.

6. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2021) O trem de pouso de uma aeronave experimenta carregamentos mecânicos alternados durante cada decolagem e a cada aterrissagem.

Sob estas condições, assinale qual a propriedade mais adequada que o trem de pouso deve apresentar, para suportar estes tipos de esforços mecânicos ou de carregamentos repetitivos.

- a) Resistência mecânica e dureza altas visando esforços no campo elástico.
- b) Alongamento para ter suficiente deformação sob esforços, sem se romper.
- c) Resistência à fadiga a esforços repetitivos, evitando falhar de maneira frágil.
- d) Tenacidade à fratura para absorver impacto sem se romper a uma dada temperatura.

Comentário:

Quando tratamos de esforços repetitivos, estamos tratando de fadiga. Portanto a propriedade mais adequada que o trem de pouso deve apresentar na situação descrita, é a resistência a fadiga a esforços repetitivos. A **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão.

As demais propriedades são importantes para o dimensionamento mecânico do trem de pouso. Entretanto, não apresentam impacto direto na resistência a fadiga causada por carregamentos cíclicos.

7. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2021) Em fadiga, “Qualquer canto vivo ou ângulo na superfície de um objeto que sofre tensões repetidas é um ponto potencialmente perigoso para a ocorrência de falha de fadiga, especialmente se o canto vivo se situar em uma região do metal submetida à tração cíclica. Um exemplo bem conhecido de falha de fadiga é o caso de turbinas de avião, cujas lâminas tinham estampado o nome do fabricante.” Fonte: Princípios de Metalurgia Física. Robert E. Reed-Hill, 1982.

Considerando que a fadiga é importante para o setor aeronáutico, pode-se afirmar que as lâminas falharam, pois

- a) o crescimento da trinca nos entalhes proporcionou um aumento da tensão na sua seção resistente restante com o avanço catastrófico da fratura.
- b) os entalhes causados pela gravação do nome do fabricante funcionaram como concentradores de tensão, favorecendo o rompimento de maneira cristalina.
- c) as tensões atuantes nas lâminas, devido aos entalhes, foram suficientes para ruptura prematura sob tensões muito maiores que aquelas num ensaio de tração.



d) as intrusões e extrusões no entalhe da gravação foram sítios para o desenvolvimento de estrias com direção de escorregamento favorável ao início das trincas.

Comentário:

A nucleação da trinca é o **primeiro estágio da falha por fadiga** e o de menor duração em relação à vida útil da peça. A nucleação de trincas é o processo no qual fissuras microscópicas aparecem no material, na maioria dos casos as fissuras têm início na superfície devido a entalhes deixados pelos processos de conformação e usinagem do material.

Os **entalhes** deixados por esses processos **funcionam como concentradores de tensão**, dessa forma mesmo que a tensão aplicada na peça esteja abaixo do limite de escoamento do material, ocorrerá deformação plástica na extremidade do entalhe. Essa deformação degrada o material, o que causa a aparição de trincas.

Os ciclos de carga no material fazem com que a trinca se propague, aumentando seu comprimento. Quanto maior a trinca, maior a tensão concentrada em sua ponta, isso acontece pois o material que foi dividido pela trinca já não pode suportar qualquer tensão, restando uma menor área para suportar os esforços aplicados. Por isso em certo momento, quando a trinca atinge seu comprimento crítico, a tensão na ponta da trinca atinge o valor da tenacidade a fratura do material, causando assim seu colapso.

Portanto a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

A **alternativa B** está incorreta. A característica cristalina na face rompida do material aparece somente na região de ruptura repentina, ou seja, os entalhes funcionaram como concentradores de tensão para nuclear trincas, mas o rompimento cristalino está ligado apenas à forma e ao comprimento da trinca, sem ter ligação direta com o entalhe inicial.

A **alternativa C** está incorreta. Para a ruptura acontecer foi preciso que a trinca nucleada nos entalhes fosse propagada, ou seja, as tensões na lâmina devido aos entalhes não foram suficientes para a ruptura prematura.

A **alternativa D** está incorreta. As estrias aparecem durante a propagação da trinca, não antes como concentradores de tensão para nuclear trincas.

8. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2019) Ao longo de quase um século de desenvolvimento no campo da engenharia aeronáutica, diversas áreas do conhecimento evoluíram motivadas não só pelas crescentes exigências de desempenho, mas também pela ocorrência de falhas e acidentes catastróficos, como, por exemplo, relacionados aos procedimentos de projeto estrutural quanto à fadiga. Após vários anos de avanço, a metodologia mais adotada é baseada na filosofia DTA (Damage Tolerance Analysis – Análise de Tolerância ao Dano).

Um programa típico de análise de tolerância ao dano envolve diversas atividades, que são agrupadas em quatro grandes áreas, exceto

a) ensaios não destrutivos.



- b) coleta de dados operacionais.
- c) análise de mecânica da fratura.
- d) ensaios em simuladores de voo.

Comentário:

As quatro grandes áreas da análise de tolerância de dano são: Coleta de dados operacionais; Análise de mecânica da fratura; Ensaios não destrutivos e ensaios em voo. Portanto ensaios em simuladores de voo não são uma das áreas e a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

9. (AOCP / EBSERH HU-UFGD - 2014) Carregamento cíclico pode fazer com que uma trinca se nucleie e cresça em um material, culminando em falha por fadiga. Para metais, a função escoamento de Von Mises é representada por: $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2 \sigma_f^2$. As tensões são positivas quando de tração sendo que σ_1 é a maior e σ_3 a menor. A máxima tensão superficial em uma viga flexionada no instante da fratura denomina-se σ_f igual a σ_y . Desta forma, se um tubo de metal de raio r e espessura de parede t suportar uma pressão interna p , e se esta gerar uma tensão circunferencial na parede igual a $\sigma_1 = pr/t$ e uma tensão axial na parede (σ_2) igual a metade de σ_1 , assinale a alternativa correta do valor da pressão p' quando o tubo começar a escoar.

- a) $p' = (2/(3^2)) \cdot (t/r) \cdot \sigma_f$
- b) $p' = (2/(3^{1/2})) \cdot (t/r) \cdot \sigma_f$
- c) $p' = (2 \cdot (3^{1/2})) \cdot (r/t) \cdot \sigma_f$
- d) $p' = (2/(3^{1/2})) \cdot (r/t) / \sigma_f$
- e) $p' = (2 \cdot (3^2)) \cdot (t/r) / \sigma_f$

Comentário:

Primeiramente vamos abrir a equação:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2 \sigma_f^2 \quad \sigma_1^2 - 2\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 + \sigma_2^2 - 2\sigma_2\sigma_3 + \sigma_3^2 + \sigma_3^2 - 2\sigma_3\sigma_1 + \sigma_1^2 = 2 \sigma_f^2$$

O termo σ_3 tem valor 0, por isso vamos excluir todos da equação para simplifica-la:

$$\sigma_1^2 - 2\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 + \sigma_2^2 + \sigma_1^2 = 2 \sigma_f^2$$

Agora devemos substituir todos os σ_2 pela relação $\sigma_2 = \sigma_1/2$:

$$\sigma_1^2 - 2\sigma_1 \frac{\sigma_1}{2} + \left(\frac{\sigma_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_1}{2}\right)^2 + \sigma_1^2 = 2\sigma_f^2$$

Agrupando os termos iguais:



$$\frac{3}{2}\sigma_1^2 = 2\sigma_f^2$$

Agora vamos fazer a substituição $\sigma_1 = \frac{pr}{T}$ e reorganizar a equação. isolando p:

$$\frac{3}{2}\left(\frac{pr}{T}\right)^2 = 2\sigma_f^2 \qquad \frac{3}{2}\frac{p^2 r^2}{T^2} = 2\sigma_f^2 \qquad p = \sqrt{\frac{4}{3}\frac{T^2 \sigma_f^2}{r^2}} \qquad p = \frac{2}{\sqrt{3}}\frac{T\sigma_f}{r}$$

Portanto, apenas a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

10. (IBFC / EBSERH - 2020) Leia o texto a seguir, adaptado do livro "CALLISTER, W. D. Ciência e engenharia de materiais - Uma introdução. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.", a respeito de Fadiga em Materiais.

"A fadiga é uma falha que ocorre em estruturas submetidas a tensões _____. Sob tais circunstâncias, é possível ocorrer uma falha sob um nível de tensão consideravelmente _____ ao limite de resistência à tração ou ao limite de escoamento para uma carga _____. Mesmo em metais com natureza normalmente _____ a falha por fadiga é de natureza _____."

Assinale a alternativa que preencha correta e respectivamente as lacunas.

- a) estáticas /superior / dinâmica / dúcteis / frágil
- b) estáticas / inferior / dinâmica / frágeis / dúctil
- c) dinâmicas e variáveis / superior / estática / frágeis / dúctil
- d) dinâmicas e variáveis / inferior / estática / dúcteis / frágil
- e) dinâmicas e variáveis / superior / estática / dúcteis / frágil

Comentário:

Vamos analisar cada uma das frases que compõe o texto:

"A fadiga é uma falha que ocorre em estruturas submetidas a tensões _____." Pela definição de fadiga, sabemos que este é um fenômeno que ocorre em materiais metálicos sob cargas **dinâmicas e variáveis**.

"Sob tais circunstâncias, é possível ocorrer uma falha sob um nível de tensão consideravelmente _____ ao limite de resistência à tração ou ao limite de escoamento para uma carga _____." A fadiga por certo tempo foi um mistério pois ocorria em peças que trabalhavam em níveis de tensão **inferiores** ao limite de resistência a tração ou limite de escoamento calculados para cargas **estáticas**.



"Mesmo em metais com natureza normalmente _____ a falha por fadiga é de natureza _____. " A falha sob fadiga é caracterizada pela plastificação dos materiais na área da trinca. Isso significa que materiais **dúcteis** apresentam falha por fadiga de aspecto **frágil**.

De acordo com os conhecimentos estudados e a análise da frase, concluímos que a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

11. (VUNESP / EBSERH HC-UFU - 2020) Sobre o conceito de falha por fadiga, é correto afirmar que

- a) acabamentos superficiais e concentração de tensões podem influenciar.
- b) normalmente está associada a cargas invariáveis com o tempo, porém muito elevadas.
- c) normalmente está associada a cargas estáticas, porém de grande intensidade.
- d) ocorre somente quando o esforço aplicado é superior ao previsto, devido a um impacto, por exemplo.
- e) não pode ser evitada.

Comentário:

A **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão. Alguns fatores influenciam na falha por fadiga, dentre esses estão o acabamento superficial da peça e a concentração de tensões.

A **alternativa B** está incorreta. A fadiga é caracterizada pela aplicação de cargas variáveis de níveis mais baixos que o limite de escoamento ou tensão de ruptura do material.

A **alternativa C** está incorreta, visto que é muito semelhante à alternativa B. Releia o comentário da alternativa B para memorizar algumas características da fadiga.

A **alternativa D** está incorreta. A fadiga ao longo do tempo, cargas relativamente baixas e variáveis fazem com que uma pequena trinca se propague infinitesimalmente à cada ciclo de carregamento, até que a falha ocorra.

A **alternativa E** está incorreta. Há modelos de dimensionamento de peças para a fadiga que garantem vida infinita ao componente, portanto a fadiga pode ser evitada.

12. (NUCEPE UESPI / PC PI -2018) Para algumas ligas de aço e de titânio, o limite de resistência a fadiga é a tensão limite na qual:

- a) Acima dela não irá ocorrer falha por fadiga.
- b) O número de ciclos é decrescente.
- c) Acima dela não haverá deformação.
- d) Abaixo dela não irá ocorrer falha por fadiga.

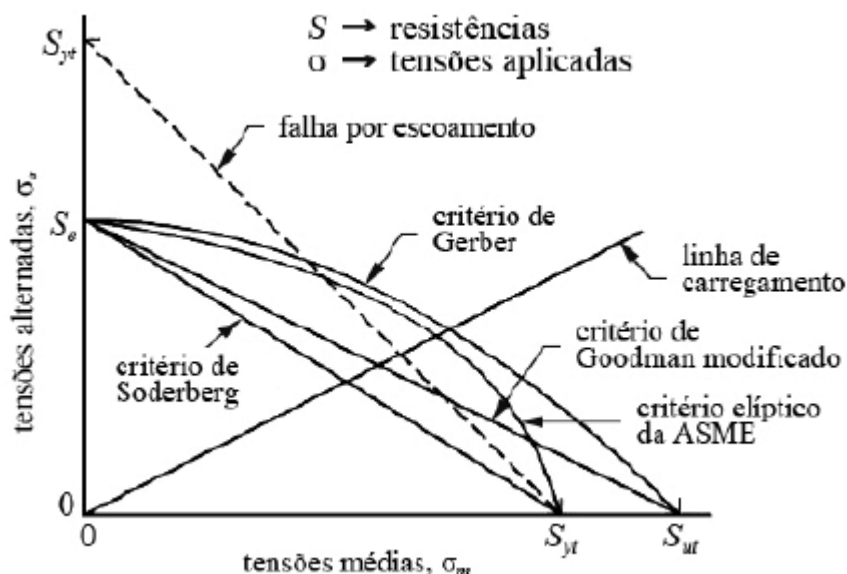


e) O material voltará ao comprimento inicial.

Comentário:

O limite de resistência a fadiga define a tensão limite cujo, caso o material trabalhe abaixo dela, não haverá falha em fadiga. Por isso a alternativa D está CORRETA e é o gabarito da questão.

13. (CEBRASPE CESPE / IFF - 2018)



A figura precedente mostra vários critérios de falha por fadiga utilizados no dimensionamento de elementos de máquinas sob cargas variáveis.

Considerando-se a figura mostrada, uma linha de carregamentos com inclinação $r=\sigma_a/\sigma_m=1$ indica que o componente está submetido a um carregamento do tipo:

- a) alternado.
- b) flutuante com tensão média de tração.
- c) flutuante com tensão média de compressão.
- d) repetido com tensão média de compressão.
- e) repetido com tensão média de tração.

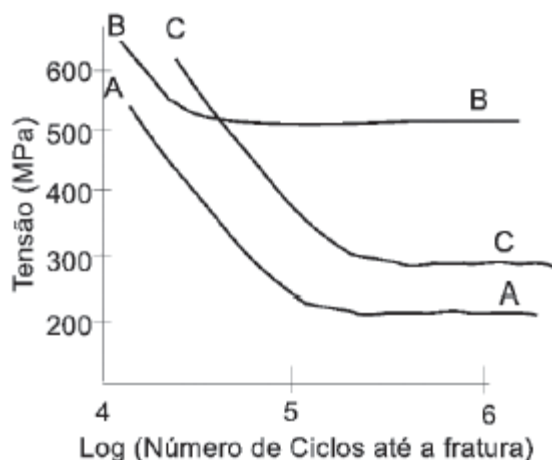
Comentário:

O enunciado da questão nos diz que a tensão alternada, quando dividida pela tensão média retorna o valor de 1 que é igual a r , que se refere a linha de carregamento. Para isso acontecer ambas as tensões devem ser exatamente iguais e positivas. Sabendo dessa informação podemos concluir que o carregamento começa em zero e cresce positivamente até atingir a tensão $2\sigma_a$ ou $2\sigma_m$, e logo após cai para zero novamente.



e o ciclo se repete. Portanto, como a tensão começa e termina o ciclo em zero, é uma tensão repetida e por ser positivo, sabemos que se trata de uma tensão trativa. Logo concluímos que a **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão.

14. (CESGRANRIO / PETROBRAS - 2018) As curvas S x N apresentadas abaixo foram obtidas empregando a mesma razão tensão mínima por tensão máxima.



Um determinado eixo sofrerá um carregamento cíclico dado pela expressão: $S(t) = 300 + 150 \sin(2\pi vt)$ MPa, onde v é a frequência de rotação do eixo.

Para esse carregamento, verifica-se que o(s)

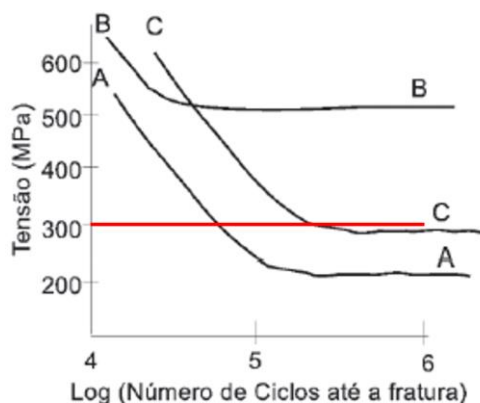
- a) material B falhará por fadiga antes dos materiais A e C
- b) material B nunca falhará por fadiga, e o material C falhará antes do material A
- c) material B nunca falhará por fadiga, e o material A falhará antes do material C
- d) materiais A e B nunca falharão por fadiga
- e) materiais A e C nunca falharão por fadiga

Comentário:

Podemos notar que a expressão dada para o carregamento é uma senóide. Sabemos que o valor do seno varia entre -1 e 1, por isso, nosso carregamento terá comportamento flutuante com tensão máxima de 450 MPa e tensão mínima de 150 MPa, o que resulta em uma tensão média de 300 MPa.

Vamos traçar uma linha da tensão de trabalho no gráfico para facilitar a leitura.





Aprendemos em aula que a falha por fadiga ocorre quando a linha do gráfico é cruzada, por este motivo concluímos que o material B nunca falhará por fadiga com a aplicação desses esforços. O material A tem a sua linha cortada antes do material C, podemos constatar então que ambos vão falhar, porém a falha do material A antecede a falha do material C.

De acordo com a análise feita, concluímos então que a **alternativa C** é a única CORRETA e o gabarito da questão.

15. (AOCP / UEFS – 2018) Em peças e conjuntos de máquinas e estruturas que estão sujeitos a variações das cargas aplicadas, ocorre comumente o aparecimento de flutuações nas tensões. Essas tensões, ainda que inferiores à resistência elástica do material, podem levar à sua ruptura se a aplicação dessas tensões ocorrer em elevado número de vezes. Das alternativas a seguir, qual melhor representa a denominação do fenômeno descrito e seu respectivo diagrama?

- a) Flambagem e Diagrama S-N.
- b) Flambagem e Diagrama de Árvore.
- c) Fadiga e Diagrama S-N.
- d) Fadiga e Diagrama σ - ϵ .
- e) Instabilidade e Diagrama σ - ϵ .

Comentário:

Sabemos que falhas devido a carregamentos cíclicos abaixo dos níveis de tensão de escoamento definem a falha por fadiga. Sabemos também que o tipo de diagrama mais utilizado para analisar esse tipo de falhar é o diagrama tensão x número de ciclos, ou diagrama S x N.

Constatamos então que a **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão.



16. (FCC / CL DF – 2018) Com relação à fadiga de materiais de construção mecânica, analise as afirmações seguintes:

- I. Eliminar descontinuidades na superfície da peça.
- II. Polir a peça visando melhorar o acabamento superficial.
- III. Jateamento, com o intuito de gerar tensões residuais de compressão na superfície da peça.
- IV. Processos de carbonetação ou nitretação, visando o endurecimento da camada superficial da peça.

As ações acima que podem contribuir para prolongar a vida em fadiga de peças metálicas são:

- a) I, II, III e IV.
- b) I e IV, apenas.
- c) II e III, apenas.
- d) I, III, apenas.
- e) II e IV, apenas.

Comentário:

Vamos analisar cada uma das afirmações para atestar sua veracidade.

A primeira afirmação está correta, as descontinuidades da superfície da peça funcionam como concentradores de tensão, auxiliando na nucleação da trinca.

A segunda afirmação está correta, quando mais porosa e irregular for a superfície, maior será a concentração de tensão. Por isso, peças de superfície lisa apresentam melhor comportamento sob tensão de fadiga.

A terceira afirmação está correta, pois as tensões compressivas na superfície da peça, geradas por jateamento de esferas de aço, contribui para aumentar a vida em fadiga, visto que dificultam a nucleação de trincas por tensionar o material de forma compressiva.

A quarta afirmação está correta também, tratamentos de endurecimento superficial garantem que a superfície da peça tenha um maior módulo de elasticidade, por isso se faz necessário tensões maiores para causar qualquer deformação plástica localizada, estas deformações trabalham nucleando trincas, por isso eliminá-las é essencial para uma vida em fadiga maior.

Todas as afirmações estão corretas, portanto, a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão. Releia cada uma das afirmações novamente para fixar o conteúdo.



17. (EAOEAR / CIAAR -2019) Sobre a fratura por fadiga de um componente metálico é correto afirmar que

- a) a trinca se propaga devido a ação de uma tensão constante e ausência de imperfeições estruturais no material.
- b) a ruptura definitiva ocorre em três etapas distintas: nucleação da trinca, propagação da trinca e falha catastrófica.
- c) durante o período de serviço, o componente está sujeito à falha por cargas constantes, devido as suas imperfeições.
- d) as trincas têm início nas regiões de baixa concentração de tensão ou de alta resistência local, para haver crescimento.

Comentário:

A **alternativa A** está incorreta. A trinca se propaga devido a tensões cíclicas e é nucleada devido à concentração de tensão que pode ocorrer em imperfeições estruturais do material.

A **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

A **alternativa C** está incorreta, pois a falha por fadiga é definida por cargas cíclicas.

A **alternativa D** está incorreta. As trincas iniciam em regiões de alta concentração de tensão.

18. (FUNDATEC / IGP RS - 2017) Analise as seguintes assertivas sobre falha em materiais:

- I. A região de uma superfície de fratura que se formou durante a etapa de propagação de uma trinca pode ser caracterizada por dois tipos de marcas, denominadas marcas de praia e estrias.
- II. As trincas nos materiais dúcteis são instáveis, ou seja, uma vez iniciada, a trinca continuará a se propagar espontaneamente sem aumento no nível de tensão.
- III. Uma medida que pode ser tomada para estender a vida em fadiga é a imposição de tensões residuais de compressão na superfície por jateamento.
- IV. Na maioria dos materiais dúcteis, a trinca frequentemente se propaga por clivagem – quebra de ligações atômicas ao longo de um plano cristalino específico.

Quais estão corretas?

- a) Apenas II.
- b) Apenas I e III.
- c) Apenas I, II e III.



d) Apenas I, II e IV.

e) I, II, III e IV.

Comentário:

A primeira afirmação está correta. Marcas de praia e estrias são as marcas deixadas durante a propagação da trinca, são formadas pela alteração nos níveis de carga e pelas tensões aplicadas a cada ciclo respectivamente.

A segunda afirmação está incorreta, visto que trincas em materiais dúcteis são estáveis e somente aumentam caso haja incremento de carga.

A terceira afirmação está correta. O jateamento causa tensões de compressão na superfície, dificultando a nucleação de trincas.

A quarta afirmação está incorreta. A propagação de trincas apresentada é um modelo específico de materiais frágeis. Os materiais dúcteis têm a propagação de trincas por nucleação de vazios.

Portanto concluímos que a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

19. (EAOEAR / CIAAR - 2018) Sobre a curva S versus N (S-N) ou curva σ versus N (σ -N) ou curva de Wöhler, é correto afirmar que

a) é a forma usual de apresentação dos resultados do ensaio de fratura.

b) é a forma de apresentar resultados do ensaio de impacto, onde N é a energia absorvida.

c) de modo geral, a curva S-N de um material é uma linha reta paralela ao eixo das tensões.

d) permite obter o limite de resistência à fadiga (σ_{rf}) e/ou a vida à fadiga (N_f) de um material.

Comentário:

A curva S-N, curva (σ -N) ou curva de Wöhler é utilizada para apresentar resultados obtidos em ensaios de fadiga. É composta por um eixo de tensão, S ou σ , e um eixo de número de ciclos representado pela letra N. Neste gráfico, ao realizar sua leitura, podemos obter informações como o limite de resistência a fadiga de um material ou a vida deste material em fadiga.

Por isso a **alternativa D** é a única CORRETA e o gabarito da questão.

20. (EAOEAR / CIAAR - 2018) A fadiga é u m a forma de falha que ocorre em estruturas que estão sujeitas a tensões dinâmicas e oscilantes como, por exemplo, pontes, aeronaves e componentes de máquinas. Sobre a fadiga é correto afirmar que

a) a resistência à fadiga representa a tensão de fratura para o número de ciclos especificados.



b) o limite de resistência à fadiga representa a grandeza desse nível constante de tensão, abaixo do qual a fadiga irá ocorrer.

c) as marcas de estrias se formam sobre componentes mecânicos que experimentam a interrupção da tensão aplicada, podendo ser observadas a olho nu.

d) as marcas de praia de fadiga possuem dimensões microscópicas e cada uma é considerada representativa da distância de avanço da extremidade da trinca devido a um único ciclo de carga.

Comentário:

A **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão. Podemos determinar a resistência a fadiga para determinado número de ciclos que um material vai suportar. A resistência a fadiga para 106 ciclos ou mais define o limite de resistência a fadiga.

A **alternativa B** está incorreta. O limite de resistência a fadiga define o limite de tensão suportado pelo material em 106 ciclos ou mais.

A **alternativa C** está incorreta. As estrias são formadas a cada ciclo, sob qualquer regime de aplicação de tensão.

A **alternativa D** está incorreta. As marcas de praia podem ser vistas a olho nu e são produzidas pelas tensões a cada ciclo de carregamento.

21. (CEBRASPE CESPE / PCie PE -2016) Acerca de falhas por fadiga em aços em geral, a resistência à fadiga

a) do elemento não é alterada pela rugosidade da sua superfície.

B) é maior quanto maior for a dureza da superfície da peça.

c) é maior quanto menor for o diâmetro da peça.

d) tem valor maior que o do limite de resistência à tração.

e) do elemento não é alterada pela existência de falha na rede cristalina do material.

Comentário:

A **alternativa A** está incorreta. A rugosidade altera muito a resistência a fadiga do material pois funciona como concentradora de tensão. Quanto maior a rugosidade, menor a resistência a fadiga.

A **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão. Quanto maior a dureza da superfície da peça, maior sua resistência a tensão, isso acontece, pois, a maior dureza dificulta a nucleação de trincas.

A **alternativa C** está incorreta de acordo com o gabarito, mas o fato de o diâmetro da peça ser menor, garante que haja menos heterogeneidades no volume de material, o que aumenta a resistência à fadiga. A meu ver, essa questão é passível de anulação.



A **alternativa D** está incorreta. A resistência à fadiga é menor que o limite de resistência a tração.

A **alternativa E** está incorreta. Falhas na rede cristalina do material concentram tensões, o que diminui a resistência à tração.

22. (CESGRANRIO / UNIRIO - 2016) Considere o enunciado e as Figuras a seguir para responder à questão.

A Figura 1 mostra o diagrama S-N referente ao ensaio de fadiga para um corpo de prova de material dúctil.

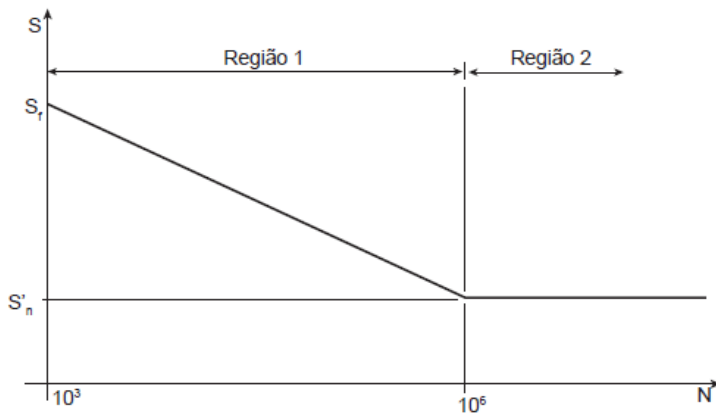


Figura 1

Esse ensaio é realizado impondo-se uma velocidade de rotação ω ao corpo de prova apoiado em A1 e A2, e sujeito às cargas F, conforme mostrado na Figura 2.

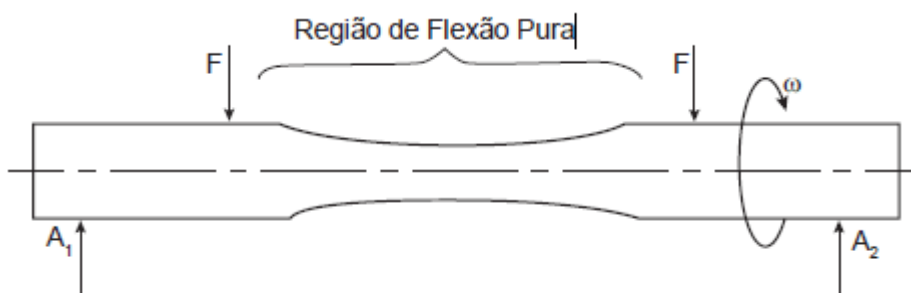


Figura 2

O gráfico da Figura 1 indica que na região

- a) 1, a vida será infinita se a tensão atuante estiver no intervalo entre S_f e S'_n
- b) 1, a vida será finita desde que a tensão atuante seja inferior a S'_n
- c) 2, a vida será finita sempre que a tensão atuante for inferior a S'_n
- d) 2, a vida será infinita para uma tensão atuante igual ou inferior a S'_n
- e) 2, a vida será infinita desde que a tensão atuante seja inferior a S_f



Comentário:

A região 1 do gráfico representa a região de baixo ciclo, onde a vida do material é finita e delimitada pela curva apresentada.

A região 2 representa a região de alto ciclo do gráfico, onde existe vida infinita em fadiga desde que a tensão atuante no material fique abaixo da linha $S'n$.

De acordo com as definições de cada região concluímos que apenas a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

23. (UFMT / IF MT - 2016) A respeito da análise de falhas mecânicas, é correto afirmar:

- a) Existem quatro estágios na falha por fadiga: início da trinca, reverberação de micro falhas, desenvolvimento de deformações onduladas e ruptura repentina devido ao crescimento estável da trinca.
- b) As marcas de praia surgem devido aos ciclos de início e parada do crescimento da trinca e circundam a origem da trinca, geralmente em um entalhe ou em um outro intensificador de tensão interna.
- c) Materiais dúcteis podem pular o estágio inicial e proceder diretamente para a propagação da trinca em locais de existência de vazio ou inclusões que atuam como trincas microscópicas.
- d) As falhas por fadiga são causadas principalmente em peças que estão sujeitas a tensões constantes e altas temperaturas.

Comentário:

A **alternativa A** está incorreta. Os estágios de uma falha por fadiga são: nucleação da trinca, propagação da trinca e falha catastrófica.

A **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão. As marcas de praia surgem a partir do ponto de iniciação da trinca e se marcam no material a cada ciclo com alteração de carga.

A **alternativa C** está incorreta, pois não há como ocorrer falha por fadiga sem a nucleação de uma trinca. Os elementos citados funcionam como concentradores de tensões e a partir deles a trinca é nucleada.

A **alternativa D** está incorreta. A falha por fadiga é definida pela aplicação de cargas não constantes.

LISTA DE QUESTÕES

1. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2014) Segundo diversos autores, a fadiga do material está entre as principais causas de falha de componentes mecânicos. A fadiga é uma redução gradual da capacidade de carga do componente, caracterizada pela ruptura do material, em consequência do avanço das fissuras que se formam no seu interior. As trincas crescem até atingir um tamanho crítico, suficiente para a ruptura final. São características do processo de falha por fadiga, exceto:



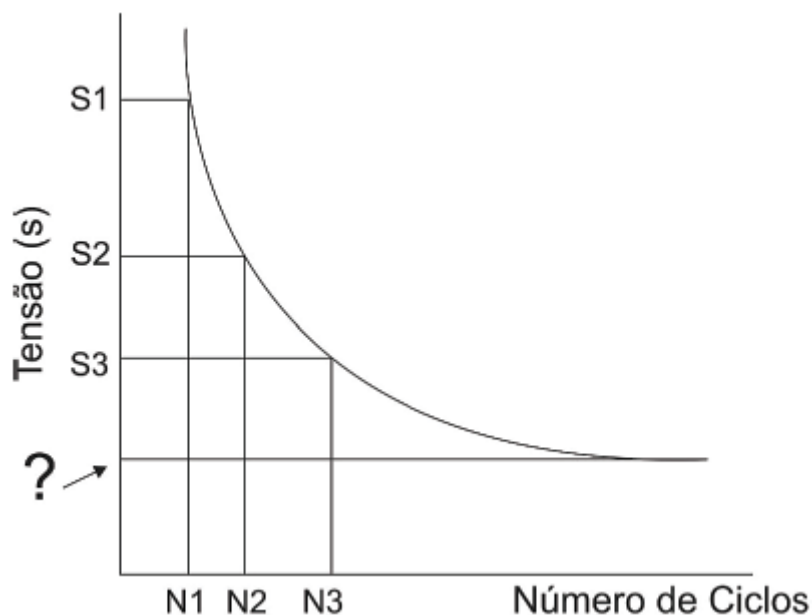
- a) formação de estrias microscópicas durante a propagação das trincas.
- b) geração inicial de trinca em uma região de alta concentração de tensões.
- c) propagação de trinca ocorrendo rapidamente em poucos ciclos de fadiga.
- d) formação de marcas de praia macroscópicas durante a propagação das trincas.

2. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2012) Preencha as lacunas abaixo e, em seguida, assinale a alternativa correta. Fadiga é uma falha que _____ ocorrer sob solicitações bastante _____ ao limite de resistência do metal, isto é, na região _____.

- a) pode / superiores / plástica
- b) pode / inferiores / elástica
- c) deve / superiores / elástica
- d) deve / inferiores / plástica

3. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2019) Ensaio de fadiga geralmente é apresentado numa curva tensão x número de ciclos.

Analise o gráfico abaixo.



A linha indicada por uma interrogação representa o limite de

- a) tensão.
- b) fadiga.



- c) flexão.
- d) ruptura.

4. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2019) O ensaio de resistência à fadiga é um meio de especificar limites de tensão e de tempo de uso de uma peça ou de um elemento de máquina.

O ensaio de fadiga é baseado em esforços de

- a) tração / torção.
- b) flexão / torção.
- c) tração / torção / compressão.
- d) tração / compressão / torção / flexão.

5. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2021) Existem condições de trabalho em que as tensões variam com o tempo ou flutuam entre determinados níveis. Para estes casos, o material pode falhar por fadiga. A fadiga é um processo de redução da capacidade de carga de componentes estruturais pela ruptura lenta do material, através da nucleação e/ou avanço de trinca a cada ciclo de carregamento.

A fratura por fadiga não ocorre

- a) se o carregamento for estacionário.
- b) em tensões abaixo do limite de resistência do material.
- c) se o ciclo de carregamento atuar em limites inferiores e superiores definidos.
- d) se o ciclo de carga envolver somente cargas abaixo do limite de escoamento do material.

6. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2021) O trem de pouso de uma aeronave experimenta carregamentos mecânicos alternados durante cada decolagem e a cada aterrissagem.

Sob estas condições, assinale qual a propriedade mais adequada que o trem de pouso deve apresentar, para suportar estes tipos de esforços mecânicos ou de carregamentos repetitivos.

- a) Resistência mecânica e dureza altas visando esforços no campo elástico.
- b) Alongamento para ter suficiente deformação sob esforços, sem se romper.
- c) Resistência à fadiga a esforços repetitivos, evitando falhar de maneira frágil.
- d) Tenacidade à fratura para absorver impacto sem se romper a uma dada temperatura.



7. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2021) Em fadiga, “Qualquer canto vivo ou ângulo na superfície de um objeto que sofre tensões repetidas é um ponto potencialmente perigoso para a ocorrência de falha de fadiga, especialmente se o canto vivo se situar em uma região do metal submetida à tração cíclica. Um exemplo bem conhecido de falha de fadiga é o caso de turbinas de avião, cujas lâminas tinham estampado o nome do fabricante.” Fonte: Princípios de Metalurgia Física. Robert E. Reed-Hill, 1982.

Considerando que a fadiga é importante para o setor aeronáutico, pode-se afirmar que as lâminas falharam, pois

- a) o crescimento da trinca nos entalhes proporcionou um aumento da tensão na sua seção resistente restante com o avanço catastrófico da fratura.
- b) os entalhes causados pela gravação do nome do fabricante funcionaram como concentradores de tensão, favorecendo o rompimento de maneira cristalina.
- c) as tensões atuantes nas lâminas, devido aos entalhes, foram suficientes para ruptura prematura sob tensões muito maiores que aquelas num ensaio de tração.
- d) as intrusões e extrusões no entalhe da gravação foram sítios para o desenvolvimento de estrias com direção de escorregamento favorável ao início das trincas.

8. (DIRENS Aeronáutica/CIAAR-2019) Ao longo de quase um século de desenvolvimento no campo da engenharia aeronáutica, diversas áreas do conhecimento evoluíram motivadas não só pelas crescentes exigências de desempenho, mas também pela ocorrência de falhas e acidentes catastróficos, como, por exemplo, relacionados aos procedimentos de projeto estrutural quanto à fadiga. Após vários anos de avanço, a metodologia mais adotada é baseada na filosofia DTA (Damage Tolerance Analysis – Análise de Tolerância ao Dano).

Um programa típico de análise de tolerância ao dano envolve diversas atividades, que são agrupadas em quatro grandes áreas, exceto

- a) ensaios não destrutivos.
- b) coleta de dados operacionais.
- c) análise de mecânica da fratura.
- d) ensaios em simuladores de voo.

9. (AOCP / EBSERH HU-UFGD - 2014) Carregamento cíclico pode fazer com que uma trinca se nucleie e cresça em um material, culminando em falha por fadiga. Para metais, a função escoamento de Von Mises é representada por: $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2 \sigma_f^2$. As tensões são positivas quando de tração sendo que σ_1 é a maior e σ_3 a menor. A máxima tensão superficial em uma viga flexionada no instante da fratura denomina-se σ_f igual a σ_y . Desta forma, se um tubo de metal de raio r e espessura de parede t suportar uma pressão interna p , e se esta gerar uma tensão circunferencial na



parede igual a $\sigma_1 = pr/t$ e uma tensão axial na parede (σ_2) igual a metade de σ_1 , assinale a alternativa correta do valor da pressão p' quando o tubo começar a escoar.

- a) $p' = (2/(3^2)).(t/r).\sigma_f$
- b) $p' = (2/(3^{1/2})).(t/r).\sigma_f$
- c) $p' = (2.(3^{1/2})).(r/t).\sigma_f$
- d) $p' = (2/(3^{1/2})).(r/t)/\sigma_f$
- e) $p' = (2.(3^2)).(t/r)/\sigma_f$

10. (IBFC / EBSERH - 2020) Leia o texto a seguir, adaptado do livro "CALLISTER, W. D. Ciência e engenharia de materiais - Uma introdução. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.", a respeito de Fadiga em Materiais.

"A fadiga é uma falha que ocorre em estruturas submetidas a tensões _____. Sob tais circunstâncias, é possível ocorrer uma falha sob um nível de tensão consideravelmente _____ ao limite de resistência à tração ou ao limite de escoamento para uma carga _____. Mesmo em metais com natureza normalmente _____ a falha por fadiga é de natureza _____."

Assinale a alternativa que preencha correta e respectivamente as lacunas.

- a) estáticas / superior / dinâmica / dúcteis / frágil
- b) estáticas / inferior / dinâmica / frágeis / dúctil
- c) dinâmicas e variáveis / superior / estática / frágeis / dúctil
- d) dinâmicas e variáveis / inferior / estática / dúcteis / frágil
- e) dinâmicas e variáveis / superior / estática / dúcteis / frágil

11. (VUNESP / EBSERH HC-UFU - 2020) Sobre o conceito de falha por fadiga, é correto afirmar que

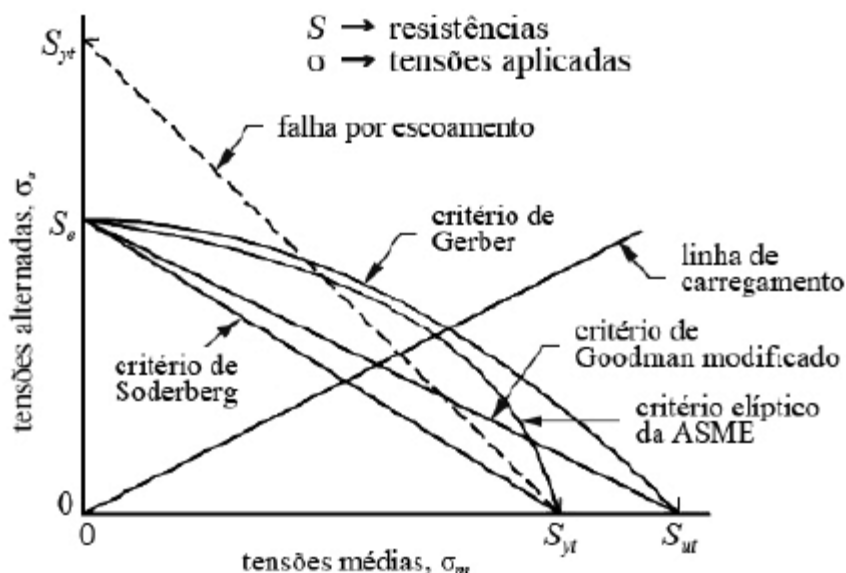
- a) acabamentos superficiais e concentração de tensões podem influenciar.
- b) normalmente está associada a cargas invariáveis com o tempo, porém muito elevadas.
- c) normalmente está associada a cargas estáticas, porém de grande intensidade.
- d) ocorre somente quando o esforço aplicado é superior ao previsto, devido a um impacto, por exemplo.
- e) não pode ser evitada.



12. (NUCEPE UESPI / PC PI -2018) Para algumas ligas de aço e de titânio, o limite de resistência a fadiga é a tensão limite na qual:

- a) Acima dela não irá ocorrer falha por fadiga.
- b) O número de ciclos é decrescente.
- c) Acima dela não haverá deformação.
- d) Abaixo dela não irá ocorrer falha por fadiga.
- e) O material voltará ao comprimento inicial.

13. (CEBRASPE CESPE / IFF - 2018)



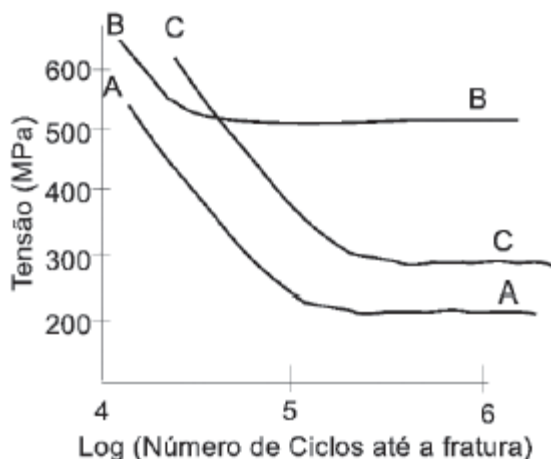
A figura precedente mostra vários critérios de falha por fadiga utilizados no dimensionamento de elementos de máquinas sob cargas variáveis.

Considerando-se a figura mostrada, uma linha de carregamentos com inclinação $r=\sigma_a/\sigma_m=1$ indica que o componente está submetido a um carregamento do tipo:

- a) alternado.
- b) flutuante com tensão média de tração.
- c) flutuante com tensão média de compressão.
- d) repetido com tensão média de compressão.
- e) repetido com tensão média de tração.



14. (CESGRANRIO / PETROBRAS - 2018) As curvas S x N apresentadas abaixo foram obtidas empregando a mesma razão tensão mínima por tensão máxima.



Um determinado eixo sofrerá um carregamento cíclico dado pela expressão: $S(t) = 300 + 150 \sin(2\pi vt)$ MPa, onde v é a frequência de rotação do eixo.

Para esse carregamento, verifica-se que o(s)

- a) material B falhará por fadiga antes dos materiais A e C
- b) material B nunca falhará por fadiga, e o material C falhará antes do material A
- c) material B nunca falhará por fadiga, e o material A falhará antes do material C
- d) materiais A e B nunca falharão por fadiga
- e) materiais A e C nunca falharão por fadiga

15. (AOCP / UEFS – 2018) Em peças e conjuntos de máquinas e estruturas que estão sujeitos a variações das cargas aplicadas, ocorre comumente o aparecimento de flutuações nas tensões. Essas tensões, ainda que inferiores à resistência elástica do material, podem levar à sua ruptura se a aplicação dessas tensões ocorrer em elevado número de vezes. Das alternativas a seguir, qual melhor representa a denominação do fenômeno descrito e seu respectivo diagrama?

- a) Flambagem e Diagrama S-N.
- b) Flambagem e Diagrama de Árvore.
- c) Fadiga e Diagrama S-N.
- d) Fadiga e Diagrama σ - ϵ .
- e) Instabilidade e Diagrama σ - ϵ .



16. (FCC / CL DF – 2018) Com relação à fadiga de materiais de construção mecânica, analise as afirmações seguintes:

- I. Eliminar descontinuidades na superfície da peça.
- II. Polir a peça visando melhorar o acabamento superficial.
- III. Jateamento, com o intuito de gerar tensões residuais de compressão na superfície da peça.
- IV. Processos de carbonetação ou nitretação, visando o endurecimento da camada superficial da peça.

As ações acima que podem contribuir para prolongar a vida em fadiga de peças metálicas são:

- a) I, II, III e IV.
- b) I e IV, apenas.
- c) II e III, apenas.
- d) I, III, apenas.
- e) II e IV, apenas.

17. (EAOEAR / CIAAR -2019) Sobre a fratura por fadiga de um componente metálico é correto afirmar que

- a) a trinca se propaga devido a ação de uma tensão constante e ausência de imperfeições estruturais no material.
- b) a ruptura definitiva ocorre em três etapas distintas: nucleação da trinca, propagação da trinca e falha catastrófica.
- c) durante o período de serviço, o componente está sujeito à falha por cargas constantes, devido as suas imperfeições.
- d) as trincas têm início nas regiões de baixa concentração de tensão ou de alta resistência local, para haver crescimento.

18. (FUNDATEC / IGP RS - 2017) Analise as seguintes assertivas sobre falha em materiais:

- I. A região de uma superfície de fratura que se formou durante a etapa de propagação de uma trinca pode ser caracterizada por dois tipos de marcas, denominadas marcas de praia e estrias.
- II. As trincas nos materiais dúcteis são instáveis, ou seja, uma vez iniciada, a trinca continuará a se propagar espontaneamente sem aumento no nível de tensão.
- III. Uma medida que pode ser tomada para estender a vida em fadiga é a imposição de tensões residuais de compressão na superfície por jateamento.



IV. Na maioria dos materiais dúcteis, a trinca frequentemente se propaga por clivagem – quebra de ligações atômicas ao longo de um plano cristalino específico.

Quais estão corretas?

- a) Apenas II.
- b) Apenas I e III.
- c) Apenas I, II e III.
- d) Apenas I, II e IV.
- e) I, II, III e IV.

19. (EAOEAR / CIAAR - 2018) Sobre a curva S versus N (S-N) ou curva σ versus N (σ -N) ou curva de Wöhler, é correto afirmar que

- a) é a forma usual de apresentação dos resultados do ensaio de fratura.
- b) é a forma de apresentar resultados do ensaio de impacto, onde N é a energia absorvida.
- c) de modo geral, a curva S-N de um material é uma linha reta paralela ao eixo das tensões.
- d) permite obter o limite de resistência à fadiga (σ_{rf}) e/ou a vida à fadiga (N_f) de um material.

20. (EAOEAR / CIAAR - 2018) A fadiga é u m a forma de falha que ocorre em estruturas que estão sujeitas a tensões dinâmicas e oscilantes como, por exemplo, pontes, aeronaves e componentes de máquinas. Sobre a fadiga é correto afirmar que

- a) a resistência à fadiga representa a tensão de fratura para o número de ciclos especificados.
- b) o limite de resistência à fadiga representa a grandeza desse nível constante de tensão, abaixo do qual a fadiga irá ocorrer.
- c) as marcas de estrias se formam sobre componentes mecânicos que experimentam a interrupção da tensão aplicada, podendo ser observadas a olho nu.
- d) as marcas de praia de fadiga possuem dimensões microscópicas e cada uma é considerada representativa da distância de avanço da extremidade da trinca devido a um único ciclo de carga.

21. (CEBRASPE CESPE / PCie PE -2016) Acerca de falhas por fadiga em aços em geral, a resistência à fadiga

- a) do elemento não é alterada pela rugosidade da sua superfície.
- B) é maior quanto maior for a dureza da superfície da peça.



- c) é maior quanto menor for o diâmetro da peça.
- d) tem valor maior que o do limite de resistência à tração.
- e) do elemento não é alterada pela existência de falha na rede cristalina do material.

22. (CESGRANRIO / UNIRIO - 2016) Considere o enunciado e as Figuras a seguir para responder à questão.

A Figura 1 mostra o diagrama S-N referente ao ensaio de fadiga para um corpo de prova de material dúctil.

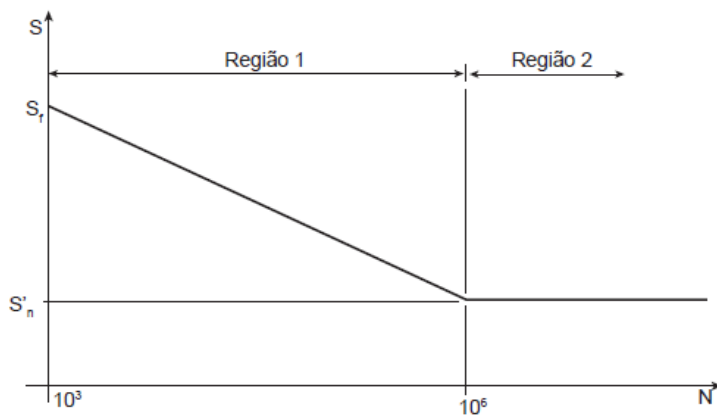


Figura 1

Esse ensaio é realizado impondo-se uma velocidade de rotação ω ao corpo de prova apoiado em A1 e A2, e sujeito às cargas F, conforme mostrado na Figura 2.

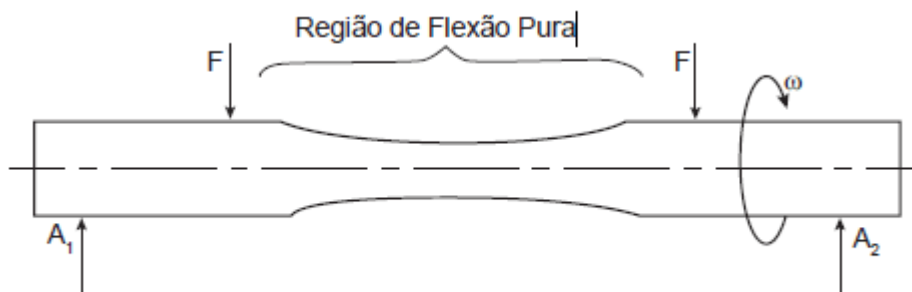


Figura 2

O gráfico da Figura 1 indica que na região

- a) 1, a vida será infinita se a tensão atuante estiver no intervalo entre Sf e S'n
- b) 1, a vida será finita desde que a tensão atuante seja inferior a S'n
- c) 2, a vida será finita sempre que a tensão atuante for inferior a S'n
- d) 2, a vida será infinita para uma tensão atuante igual ou inferior a S'n
- e) 2, a vida será infinita desde que a tensão atuante seja inferior a Sf



23. (UFMT / IF MT - 2016) A respeito da análise de falhas mecânicas, é correto afirmar:

- a) Existem quatro estágios na falha por fadiga: início da trinca, reverberação de micro falhas, desenvolvimento de deformações onduladas e ruptura repentina devido ao crescimento estável da trinca.
- b) As marcas de praia surgem devido aos ciclos de início e parada do crescimento da trinca e circundam a origem da trinca, geralmente em um entalhe ou em um outro intensificador de tensão interna.
- c) Materiais dúcteis podem pular o estágio inicial e proceder diretamente para a propagação da trinca em locais de existência de vazio ou inclusões que atuam como trincas microscópicas.
- d) As falhas por fadiga são causadas principalmente em peças que estão sujeitas a tensões constantes e altas temperaturas.

GABARITO

- 1. C
- 2. B
- 3. B
- 4. D
- 5. A
- 6. C
- 7. A
- 8. D
- 9. B
- 10. D
- 11. E
- 12. D
- 13. E
- 14. C
- 15. C
- 16. A
- 17. B
- 18. B
- 19. D
- 20. A
- 21. B
- 22. D
- 23. B



ESSA LEI TODO MUNDO CONHECE: PIRATARIA É CRIME.

Mas é sempre bom revisar o porquê e como você pode ser prejudicado com essa prática.



1 Professor investe seu tempo para elaborar os cursos e o site os coloca à venda.



2 Pirata divulga ilicitamente (grupos de rateio), utilizando-se do anonimato, nomes falsos ou laranjas (geralmente o pirata se anuncia como formador de "grupos solidários" de rateio que não visam lucro).



3 Pirata cria alunos fake praticando falsidade ideológica, comprando cursos do site em nome de pessoas aleatórias (usando nome, CPF, endereço e telefone de terceiros sem autorização).



4 Pirata compra, muitas vezes, clonando cartões de crédito (por vezes o sistema anti-fraude não consegue identificar o golpe a tempo).



5 Pirata fere os Termos de Uso, adultera as aulas e retira a identificação dos arquivos PDF (justamente porque a atividade é ilegal e ele não quer que seus fakes sejam identificados).



6 Pirata revende as aulas protegidas por direitos autorais, praticando concorrência desleal e em flagrante desrespeito à Lei de Direitos Autorais (Lei 9.610/98).



7 Concurseiro(a) desinformado participa de rateio, achando que nada disso está acontecendo e esperando se tornar servidor público para exigir o cumprimento das leis.



8 O professor que elaborou o curso não ganha nada, o site não recebe nada, e a pessoa que praticou todos os ilícitos anteriores (pirata) fica com o lucro.



Deixando de lado esse mar de sujeira, aproveitamos para agradecer a todos que adquirem os cursos honestamente e permitem que o site continue existindo.